UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

Année 1970 N° 2

ETUDE DES PHENOMENES DE CONSOLIDATION D'AMALGAMES DENTAIRES PAR DILATOMETRIE ET FLUAGE ISOTHERMES

THÈSE

POUR LE DOCTORAT DU 3ème CYCLE EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement en mars 1970

par

Robert VIVENT

Docteur en Médecine
Chirurgien Dentiste
Doctor of Dental Surgery (U.S.A.)

Membres du jury. . . . .

MM. H. CADENAT — Président
G. COLLETTE — Examinateurs
V. BRUSTIER — Examinateurs
P. BOURBON — Examinateurs

Imprimée au C.E.I.P.
1970

ETUDE DES PHENOMENES DE CONSOLIDATION D'AMALGAMES DENTAIRES PAR DILATOMETRIE ET FLUAGE ISOTHERMES

UNIVERSITE
de
TOULOUSE

FACULTE MIXTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE

TABLEAU DU PERSONNEL

Doyen	: Monsieur LAZORTHES
Assesseur (Médecine)	: Monsieur MONNIER
Assesseur (Pharmacie)	: Monsieur BREUILLAUD
Doyens honoraires	: MM. GORSE, CALVET, BRUSTIER
Professeurs honoraires	: MM. VALLOIS, TAPIE, DELAS, RISER, BUGNARD, VINCENT, MOREL, BOUISSET, CALMETTES, THOMAS.

SECTION MEDECINE

Clinique médicale et cardiologique	MM. MERIEL
Clinique médicale sud	GADRAT
Clinique chirurgicale	N.....
Clinique chirurgicale et gynécologie	FABRE Pierre
Clinique chirurgicale et du cancer	GRIMOUD
Clinique chirurgicale infantile et orthopédie	PASQUIE
Clinique chirurgicale orthopédique et traumatologique	RIEUNAU
Clinique de chirurgie cardio-vasculaire	ENJALBERT
Clinique des maladies cutanées et syphilitiques	BAZEX
Clinique des maladies des voies urinaires	LHEZ
Clinique des maladies infectieuses	ANDRIEU
Clinique médicale infantile et puériculture	SOREL
Clinique médicale de la première enfance	BARDIER
Clinique de neuro-chirurgie	LAZORTHES
Clinique neurologique et psychiatrique	GERAUD
Clinique obstétricale	PONTONNIER
Clinique odonto-stomatologique	CADENAT
Clinique ophtalmologique	N.....
Clinique O.R.L. et chirurgie maxillo-faciale	CALVET
Clinique de pneumo-phtisiologie	DELAUDE
Clinique rhumatologique	RUFFIE René
Accouchement et obstétricie sociale	JAHIER
Anatomie	BASTIDE
Anatomie appliquée	POULHES
Anatomie pathologique	FABRE Jacques
Anesthésie et réanimation	LARENG
Bactériologie et virologie	Mme ENJALBERT
Biophysique médicale A	AUVERGNAT

UNIV. LEIDEN BIBL.

Biophysique médicale B	MM. BRU
Chimie biologique	VALDIGUIE Paul
Electro-radiologie	MARQUES
Embryologie générale	BROUSSY Jean
Hématologie	RUFFIE Jacques
Histologie	BIMES
Hydrologie thérapeutique et climatologie	DARNAUD
Hygiène et médecine sociale	MONNIER
Immunologie	DUCOS
Médecine légale et médecine de travail	PLANQUES
Pathologie chirurgicale	DAMBRIN
Pathologie générale et médecine expérimentale	SENDRAIL
Pathologie médicale	RIBAUT
Physiologie	LAPORTE Yves
Physiologie appliquée et pharmacologie	BAISSET
Sémiologie et clinique médicale	LAPORTE Jacques
Thérapeutique	DARDENNE

- PROFESSEURS A TITRE PERSONNEL -

Anatomie pathologique	MM. BOUISSOU
Biochimie médicale	DOUSTE-BLAZY
Histologie et embryologie	PLANEL
Maladies infectieuses	ARMENGAUD
Oto-rhino-laryngologie	CLAUX
Pathologie médicale	BOULARD
Physiologie	MONTASTRUC
Physiologie	BESSOU
Physique médicale	COMMANAY

- PROFESSEURS SANS CHAIRE -

Biochimie médicale	MM. VALDIGUIE Pierre
Chirurgie générale	GEDEON
Chirurgie générale	SARRAZIN
Electro-radiologie	PONS
Histologie et embryologie	GUILHEM
Ophtalmologie	DEODATI
Pneumo-phtisiologie	MIGUERES
Neuro-chirurgie	ESPAGNO Jacques

- MAITRES DE CONFERENCES AGREGES -

Anatomie pathologique	M. FABRE Jean
Bactériologie, Parasitologie, Virologie	Mme LARENG
Carcinologie	MM. ESTRADE
Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire	ESCHAPASSE
Electro-radiologie	ROULLEAU
Médecine générale et thérapeutique	BES
Médecine générale et thérapeutique	BOLLINELLI
Médecine générale et thérapeutique	SUC
Pathologie expérimentale	GLEIZES
Pédiatrie	DALOUS
Pédiatrie	REGNIER
Médecine générale	ARLET Jacques
Médecine générale	RIBET

- A G R E G E S -

Médecine générale	MM. CALAZEL
Médecine générale	RASCOL
Médecine générale	LE TALLEC
Chirurgie générale	FICAT
Chirurgie générale	GAUBERT
Dermato et syphiligraphie	DUPRE
Hydrologie	DENARD
Médecine légale	GREZES-RUEFF
Neurologie et psychiatrie	GAYRAL
Obstétrique	ESPAGNO Guy
Ophtalmologie	BEC

- AGREGES LIBRES -

Chirurgie générale	MM. SOUQUET
Pathologie chirurgicale	DIEULAFE

- MAITRES DE CONFERENCE ASSOCIES -

Psychiatrie	M. LABOUCARIE

SECTION PHARMACIE

Botanique et Cryptogamie	N.....
Chimie et Analytique	MM. PITET
Toxicologie, Hygiène et Hydrologie	BOURBON
Chimie pharmaceutique	BLANC
Microbiologie	BREUILLAUD
Pharmacie chimique et Pharmacodynamie	CAUJOLLE
Pharmacie galénique et matière médicale	STANISLAS
Physiologie, Zoologie et Parasitologie pharmaceutique	ROUX

- PROFESSEURS A TITRE PERSONNEL -

Pharmacie	M. COUTURIER
Sciences naturelles	Mme CAUJOLLE

- PROFESSEURS SANS CHAIRE -

Chimie organique	MM. BERTRAND
Toxicologie	BROUSSY Georges
Zoologie	GAYREL

- MAITRES DE CONFERENCES AGREGES -

Botanique	Mme LASCOMBES
Microbiologie	MM. MICHEL Georges
Pharmacodynamie	CROS Jean
Physiologie	DUMAS Jean-Claude
Pharmacie galénique	ROUFFIAC Robert
Chimie biologique	SOULA Georges
Toxicologie	MALBOSC Robert

- PERSONNEL ADMINISTRATIF -

Secrétaire Principal : Monsieur ROCHE

La Faculté déclare n'être pas responsable des opinions émises
par les candidats (délibération en date du 12 mai 1891)

UNIVERSITÉ DE TOULOUSE

FACULTÉ MIXTE DE MÉDECINE ET DE PHARMACIE

Année 1970 N° 2

ETUDE DES PHENOMENES DE CONSOLIDATION D'AMALGAMES DENTAIRES PAR DILATOMETRIE ET FLUAGE ISOTHERMES

THÈSE

POUR LE DOCTORAT DU 3ème CYCLE EN CHIRURGIE DENTAIRE

Présentée et soutenue publiquement en mars 1970

par

Robert VIVENT

Docteur en Médecine
Chirurgien Dentiste
Doctor of Dental Surgery (U.S.A.)

Membres du jury. . . . .

MM. H. CADENAT — Président
G. COLLETTE
V. BRUSTIER — Examinateurs
P. BOURBON

Imprimée au C.E.I.P.
1970

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

A LA MEMOIRE DE MON PERE

A LA MEMOIRE DE MON ONCLE

A MA MERE
en gage de mon affection

A MON ONCLE Edouard VIVENT

A MA TANTE ET A MA COUSINE

A MES PARENTS

A MES AMIS

A NOTRE PRESIDENT DE THESE

Monsieur le Professeur Henry CADENAT

Professeur à la Faculté de Médecine
et de Pharmacie
Professeur de Clinique Odonto-Stomatologique

Il nous fait le grand honneur de présider notre thèse.

Qu'il nous permette de rendre hommage aujourd'hui à la mémoire de son père, Monsieur Etienne CADENAT, qui créa l'Odonto-Stomatologie à la Faculté de Médecine de Toulouse et fut une grande figure de la stomatologie française. Avec sa légendaire bonté naturelle, il nous avait assisté et dirigé lors de notre thèse de médecine.

A NOTRE JURY DE THESE

Monsieur le Professeur G. COLLETTE

Professeur à la Faculté des Sciences
(Institut National des Sciences Appliquées)

Nous n'oublierons pas l'aimable spontanéité de son accueil dans ses laboratoires.

Nous lui exprimons notre déférente gratitude en lui dédiant notre travail qui, sans lui, n'aurait pas été possible.

Monsieur le Professeur V. BRUSTIER

Professeur Honoraire de Chimie Analytique
Toxicologie et Hygiène Industrielle
Doyen Honoraire
Commandeur de la Légion d'Honneur

Sa fidèle amitié pour mon père et ma très vive reconnaissance pour les conseils judicieux qu'il nous a toujours donnés font que sa présence aujourd'hui dans notre Jury de thèse a pour nous une inestimable signification.

Monsieur le Professeur P. BOURBON

Professeur à la Faculté de Médecine et Pharmacie
Professeur de Chimie Analytique, Toxicologie
et Hygiène Industrielle

Honoré de son amitié et de sa présence dans notre Jury, qu'il nous soit permis de lui exprimer notre indéfectible attachement.

A NOS MAITRES

des Facultés de Médecine et de Pharmacie
de Toulouse et Bordeaux

A NOS MAITRES ET AMIS

de l'Université de Pennsylvanie

A Monsieur le Docteur A. CASTAIGNE

Directeur du CENTRE D'ETUDES POUR L'INDUSTRIE PHARMACEUTIQUE (C. E. I. P.)

Nous remercions enfin

le CENTRE D'ETUDES POUR L'INDUSTRIE PHARMACEUTIQUE

et plus particulièrement :

les Docteurs J. BLANCHARD et P. LASSERRE

Nous sommes heureux de leur exprimer nos sentiments de vive reconnaissance pour nous avoir activement assisté dans la réalisation de cette thèse.

les Docteurs P.A. MESSERLI et A. QUERITET

pour les recherches bibliographiques.

et tous ceux qui nous ont aidé dans la réalisatio
de ce travail.

S O M M A I R E

INTRODUCTION 1

CHAPITRE I - Obturations dentaires. Historique et matériaux employés 5

CHAPITRE II - Classification des cavités de carie et d'obturation 21

. Cavités de carie 23

. Cavités d'obturation 27

. Préparation des cavités 31

. Remarques 35

CHAPITRE III - L'amalgame 39

. Place de l'amalgame en dentisterie opératoire 41

. Nature de l'amalgame 45

. Composition de l'alliage d'amalgame 49

. Propriétés des amalgames 53

CHAPITRE IV - Etude métallurgique 57

. Dilatométrie 63

. Fluage sous contrainte de compression statique 87

. Conclusions de la présente étude .. 99

CONCLUSIONS GENERALES 105

BIBLIOGRAPHIE 109

INTRODUCTION

Si l'on admet qu'il existe actuellement dans le monde environ 400.000 praticiens exerçant l'odontologie, c peut, en supposant que chacun réalise cinq restaurations par jour en amalgame, ce qui est une moyenne minimale, dire que deux millions de telles restaurations sont ainsi faites chaque jour et cela depuis quelque temps, car l'amalgame sous une forme ou une autre est utilisé en dentisterie opératoire depuis 1825.

Monsieur le Professeur COLLETTE, qui aime les chiffres, m'a suggéré d'aller un peu plus loin : en considérant que la quantité de mercure et d'alliage pour réaliser un amalgame peut être arrondie, pour la simplification des multiplications, à une valeur égale à 5 grammes, ces deux millions d'obturations signifient donc qu'une masse moyenne de dix tonnes d'amalgame est insérée chaque jour dans les dents des citoyens de ce monde.

Nous pensons qu'il n'est pas utile d'en arriver à préciser, qu'en moyenne annuelle, on dépasserait les trois mille tonnes, pour justifier la nécessité d'une étude métallurgique sérieuse de la question.

A notre retour des Etats-Unis, nous nous sommes efforcé d'appliquer les techniques apprises lors de nos études à l'Université de Philadelphie.

Si parfois des difficultés matérielles nous ont gêné, il n'en était rien pour les restaurations en amalgame, car nous nous trouvions exactement dans les mêmes conditions de réalisation, ayant même à notre disposition les amalgames utilisés là-bas.

Nous avons donc pu avoir, au cours de nos vingt-cinq années de pratique, des satisfactions cliniques remarquables dans le temps et nous nous sommes toujours passionn pour ce moyen de restauration en essayant d'améliorer son utilisation.

C'est pourquoi, lorsqu'en avril 1967, les laboratoires Thersa nous ont demandé notre collaboration pour étudier de nouveaux amalgames, nous avons accepté avec joie et, dès lors, dans les laboratoires de métallurgie de Monsieur le Professeur COLLETTE à l'I.N.S.A. de Toulouse sous sa haute et bienveillante direction, nous avons réalisé certains travaux que nous nous proposons d'exposer et de discuter dans cette thèse.

C H A P I T R E I

OBTURATIONS DENTAIRES

HISTORIQUE ET MATERIAUX EMPLOYES

On ne sait pas exactement qui est à l'origine des premières obturations dentaires bien que l'on prétende que cet honneur revienne à CELSUS (environ 30 ans avant J.C.) qui avait recommandé de "bourrer avec du plomb ou du tissu les dents cariées et fragiles qui devaient être extraites afin qu'elles ne se brisent pas sous la pression des tenailles".

On a beaucoup écrit au sujet de la découverte d'or et de bois doré sur les dents des momies de Thèbes, mais on ne sait pas encore si ces obturations avaient été insérées avant ou après la mort. D'ailleurs, l'existence même de ces obturations n'est pas certaine d'après les écrits des historiens notoires qui se sont efforcés de localiser l'endroit où se trouvaient les momies en question.

Dans son "Histoire de l'Art Dentaire" GUERINI indique qu'ARCULANUS, qui mourut en 1484, fut le premier auteur à faire allusion à l'utilisation de l'or pour des obturations dentaires. Dans le même livre sont reproduites des pages d'un livre imprimé à Leipzig en 1530 dans lesquelles une référence est faite à MESUE, médecin du calife HAROUN EL RASCHID (786-809) qui aurait obturé des dents avec de l'or.

Grâce aux écrits de RHAZES (plus exactement, ABU BEKR MUHAMMED BEN ZACARJA ER RHAZI de Perse), aux environs du milieu du 9ème siècle, et de VALESCUS, de Tarente, Professeur à l'Université de Montpellier au début du 15ème siècle, on sait que des obturations dentaires furent effectuées au Moyen-Age et que de nombreux matériaux étaient utilisés. RHAZI écrivait que l'extension des caries devait être arrêtée en remplissant la cavité avec un mélange de mastic et d'alun. Pour parfumer l'haleine, combattre la douleur, etc., VALESCUS recommandait de remplir la cavité avec de la nigelle, du poivre, de la myrrhe, du sel et de la thérisque pulvérisés, ou avec du pyrèthre, de la gomme ammoniaque et de l'opium, ou avec des graines de céleri, de l'opium, de l'hyoscyamus pulvérisés ou avec des peaux de serpents bouillies dans du vinaigre - ce dernier pour éviter l'extension des caries.

Le livre "History of Dental and Oral Science in America" mentionne que le plus vieux matériau dont on ait retrouvé la trace pour l'obturation des dents était le plomb, et que ce métal très malléable a été le principal

matériau d'obturation pendant très longtemps. Il était uti
lisé sous forme de feuilles dont on déchirait un morceau
qui était ensuite roulé entre le pouce et les doigts jusqu
ce qu'il forme une boule suffisamment grosse pour remplir
largement la cavité. Le plomb était ensuite mis en place à
l'aide d'instruments, puis taillé et poli.

Dans la seconde partie du 18ème siècle, le plomb,
l'étain et l'or furent souvent mentionnés. FAUCHARD (envi-
ron 1680-1761) les a cités tous les trois en indiquant éga
lement qu'il préférait l'étain à cause de sa supériorité
sur le plomb en ce qui concerne la teinte et la durée des
obturations et parce que l'or était "si cher que tout le
monde ne pouvait pas ou ne voulait pas faire la dépense
correspondante".

Cependant, ce n'est qu'après 1800 que la pratique
des obturations dentaires devint plus courante et elle se
vulgarisa aux Etats-Unis plus tôt que dans les autres pays
Toutefois, même à cette époque, seulement les meilleurs
dentistes effectuaient des obturations dentaires.

OBTURATIONS PLASTIQUES

Le 19ème siècle fut certainement une période très
active d'effort expérimental pour trouver des matériaux
convenables pour les obturations dentaires. Les premiers
de ces matériaux plastiques étaient des solutions éthérées
ou alcooliques de gomme, tels que le mastic, la sandaraque
etc.

Un ciment terro-métallique, mélange de sulfate de
chaux et d'oxyde de fer, fit son apparition, ainsi que le
"célèbre ciment antalgique" ("celebrated anodyne cement")
similaire au ciment terro-métallique, mais avec l'adjonc-
tion de morphine.

METAUX FUSIBLES

L'"History of Dental & Oral Science of America"
mentionne que le ciment minéral d'Arcet fut le premier de
cette catégorie de métaux, ayant été introduit en Amérique
en 1820 après une période relativement longue d'utilisati
en France. On le désignait sous le nom d'alliage Newton,

composé de 8 parties de bismuth, 5 de plomb, 3 d'étain et occasionnellement l'addition d'un dixième de partie de mercure pour accélérer la fusion. Il devenait plastique à 100° C et était généralement fondu et coulé dans la cavité.

N. REGNART proposait l'addition de mercure pour abaisser le point de fusion du métal d'Arcet. La combinaison n'était cependant pas un succès, mais l'adjonction de mercure démontra les propriétés de cristallisation de la masse et, pour cette raison, c'est probablement à REGNART que l'on doit la suggestion d'utiliser l'amalgame.

L'emploi de l'étain était populaire en 1830, particulièrement pour les cavités dans les grosses molaires, lorsqu'on considérait que la rémunération pour l'acte dentaire n'était pas suffisante pour justifier l'emploi du métal noble : l'or.

Peu de temps après 1860, le métal de Wood succéda au métal d'Arcet qui en rappelait la manipulation, mais dont la fusion était effectuée à une température beaucoup plus basse : 60° C. Des morceaux de métal de Wood étaient placés dans la cavité et y étaient rendus plastiques par l'application d'un instrument chauffé.

Vers 1826, TRAVEAU, de Paris, recommanda l'utilisation de ce qu'il appelait une "pâte d'argent", qui était une combinaison d'argent vierge et de mercure, pour des obturations permanentes, et avec cette substance fut introduite dans le domaine dentaire ce qui était destiné à devenir pour de nombreuses années l'hydre de l'Art dentaire.

PREMIERS AMALGAMES

Le Dictionnaire dentaire de Harris ("Harris'Dictionnary of Dental Science"), en 1849, donne cette définition de l'amalgame : "un composé de mercure avec un autre métal est appelé un amalgame".

"Au cours des dernières années, un amalgame de mercure et d'argent, soit seul, soit en combinaison avec de l'argent, du verre ou de la pierre ponce finement pulvérisés a été beaucoup utilisé par de nombreux dentistes pour obturer les dents, mais des praticiens éminents pensent que

c'est le matériau qui présente le plus d'inconvénients po
ce travail ... étant introduit à l'état plastique, il se
rétracte des parois de la cavité en durcissant, laissant
ainsi le passage aux sécrétions de la bouche ; en consé-
quence, au lieu d'arrêter la carie des dents, il l'accé-
lère souvent ... la surface exposée s'oxyde rapidement,
devient noire et donne à la dent une apparence extrê-
mement désagréable ... dans la bouche de personnes très
allergiques à l'action du mercure, il peut provoquer la
salivation et même dans les meilleures conditions il
exerce souvent un effet morbide sur le périoste alvéolo-
dentaire, les gencives et la membrane muqueuse de la bouc

"Les objections ci-dessus devraient, en toutes
circonstances et dans tous les cas, interdire l'utilisa-
tion de ce produit ...".

Cette description n'était pas dépourvue d'objec-
tivité à l'époque, car les amalgames d'alors possédaient
peu de qualités qui puissent en faire recommander l'usage

On ne sait pas exactement à quand remonte l'intr
duction de l'amalgame aux Etats-Unis, bien qu'on pense q
ce furent les frères CRAWCOUR qui arrivèrent à New-York
en 1833 et qui commencèrent à obturer les dents avec ce
qu'ils appelaient un "minéral royal succédané" ("Royal
mineral succedanous"). En prétendant "que ce produit
pouvait obturer les dents en quelques minutes sans la
moindre douleur et par suite permettre de conserver les
dents", il semble que les frères CRAWCOUR attirèrent de
nombreux clients tandis que la plupart des meilleurs den
tistes de New-York à cette époque n'avaient plus de
travail dans leur cabinet. Le leurre que constituait la
promesse d'une opération "sans douleur" avait touché une
corde sensible et on préférait l'insertion avec une légè
pression d'un matériau plastique à un foulage brutal. Pa
conséquent, les obturations par foulage de PARMLY, BAKER
GREENWOOD et d'autres perdirent un peu de leur popularit
SPOONER, dans son "Guide to Sound Teeth" ("pour avoir le
dents saines") relate un cas où les frères CRAWCOUR enle
vèrent effectivement une obturation en or pour la rem-
placer avec leur "mineral royal succédané".

Le succès apparent des frères CRAWCOUR, que l'on disait ignorants et professionnellement incompétents, sans scrupules et négligents dans leur travail, était une pilule amère pour les praticiens respectables de l'époque ; en conséquence, quelques-uns de ceux-ci se groupèrent et entrèrent en lutte contre les CRAWCOUR, tandis que d'autres commencèrent à utiliser le nouveau matériau d'obturation, soit parce qu'ils y étaient poussés par la nécessité de travailler, soit en réponse aux demandes de leur patients ou pour ces deux raisons.

Les méthodes des CRAWCOUR devaient fatalement aboutir au jour où on leur demanderait des comptes. On dit qu'ils ne taillèrent même pas les cavités ni qu'ils ne les asséchaient, l'obturation étant simplement mise en place, et dans d'autres cas, il n'y avait pas de cavités, le matériau étant simplement introduit entre les dents. Lorsque les patients furieux ajoutèrent leur colère à celle de presque tous les praticiens dentaires, les frères CRAWCOUR jugèrent prudent de quitter les Etats-Unis et ils le firent en emportant beaucoup de dollars américains.

A la suite du départ des frères CRAWCOUR, l'amalgame fut pendant longtemps un sujet qui était la cause de débats passionnés. Un groupe de dentistes se rendant compte que l'amalgame offrait des possibilités, demandèrent qu'on fasse des recherches pour déterminer ses mérites, tandis qu'un autre groupe demandait qu'on en interdise l'emploi.

LA GUERRE DES AMALGAMES

La controverse devint si intense entre les avocats et les opposants de l'utilisation de l'amalgame que des amitiés furent rompues et que l'on put craindre une dissolution de l'"American Society of Dental Surgeons" pendant les années où la lutte était à son point culminant (1840-1850). L'American Society of Dental Surgeons déclara officiellement la guerre par la nomination en 1841 d'un Comité pour l'étude des substances contenant du mercure, destinées à obturer les dents. Cette étude ne fut pas favorable à l'amalgame. En 1843 la même société déclara que l'utilisation de l'amalgame devait être considérée comme un acte

de négligence de la part d'un praticien et en 1845, elle adopta la résolution suivante :

> "L'American Society of Dental Surgeons ayant la conviction que les amalgames, qu'ils soient utilisés sous le nom de "pâte minérale", "ciment adamantin", "succédané", "ciment Diamant", "Lithodeon", "ciment albâtre", "ciment chinois" ou désignés de toute autre manière, ne sont pas seulement impropres mais dangereux lorsqu'on les utilise pour obturer les dents ou leurs racines et déclare, en conséquence, que l'utilisation de tous les amalgames constitue une faute professionnelle.
>
> "Il est, d'autre part, décidé que tout membre de la Société qui refusera de signer un certificat s'engageant à ne pas utiliser l'amalgame et de plus à protester contre son utilisant en toutes circonstances dans la pratique de l'Art dentaire sera exclu de la Société".

Au lieu d'être arrêtée par l'adoption de la résolution ci-dessus, l'utilisation de l'amalgame devint plus fréquente. Des hommes intelligents expérimentèrent partou ce produit. Les premiers utilisateurs de l'amalgame d'argent se procurèrent leur argent en limant des pièces de monnaie, car il était plus facile de se procurer celle ci que de l'argent vierge ; ils préféraient utiliser des pièces de monnaie espagnoles et mexicaines parce qu'elles contenaient moins d'alliage que les pièces des Etats-Unis à cette époque. On ajoutait du mercure à cette limaille pour rendre la masse plastique, puis on la pressait à l'aide de pinces et ce qui restait d'amalgame et d'argent était inséré dans la cavité où il durcissait.

Ces amalgames étaient difficiles à préparer et leur expansion était telle que les résultats n'étaient pas satisfaisants. Cette expansion cependant n'était pas décelée ; la principale objection de ses utilisateurs résidait dans le fait que le matériau noircissait. Les premières expériences par conséquent visèrent à corriger cette coloration, correction qui fut réalisée par l'introduction d'une grande quantité d'étain dans l'argent. Grâce à cet apport d'étain, la couleur de l'amalgame fut

améliorée, l'amalgamation devint plus facile, la masse plus plastique et l'insertion fut beaucoup simplifiée, mais en éliminant la coloration, on ne se rendit pas compte pendant très longtemps qu'il en résultait une contraction, de sorte qu'aucune obturation en amalgame n'était étanche. Lorsqu'on s'en rendit compte, on essaya d'y remédier.

Cependant, dès cette époque, l'amalgame faisait des adeptes partout. En 1850, l'American Society of Dental Surgeons annula la résolution qu'elle avait prise contre l'amalgame en 1845, en dépit du fait qu'il y avait encore quelques praticiens qui s'opposaient à son utilisation. Son emploi fut interdit dans une école dentaire jusqu'à la mort de son Directeur en 1903.

Le premier alliage pour amalgame présentant quelques mérites fut celui proposé par le Dr. Elisha TOWNSEND en 1855. Il était constitué de 4 parties d'argent et de 5 parties d'étain fondues ensemble, puis réduites en limaille. Le mercure était ajouté à cette limaille pour obtenir une masse plastique au moment de son utilisation, masse qui était lavée avec de l'alcool. Le mercure était ensuite exprimé, le résidu formant une masse durcie qui, selon son inventeur, pouvait être réduite en fragments qui adhéraient ensemble de façon à former une masse uniforme et dure. Cet amalgame fut populaire en 1863.

DEBUT DES RECHERCHES SCIENTIFIQUES

Les premières expériences de nature scientifique réalisées pour comprendre les phénomènes concernant les alliages pour amalgames furent entreprises par John TOMES, Charles TOMES, Thomas FLETCHER, A. KIRBY d'Angleterre, et A. BOGUE, T.B. HITCHCOCK, J. FOSTER FLAGG, Stewart B. PALMER, Henry S. CHASE et d'autres aux Etats-Unis. Les expériences de John TOMES, en 1861, démontrèrent au microscope la contraction de 6 alliages pour amalgame ; un 7ème alliage de cuivre pur et de mercure possédait des qualités supérieures à tous les autres alliages étudiés tant en ce qui concerne l'égalité de sa surface que sa meilleure adaptation aux parois de la cavité. Charles S. TOMES vérifia, en 1871-1873, les conclusions de son père grâce au test de gravité spécifique. Thomas FLETCHER suggéra de bourrer l'amalgame dans des tubes de verre et de submerger les tubes remplis d'amalgame dans des solutions colorées

pour vérifier la contraction. A. KIRBY, à l'aide d'une auge en forme de V et d'un micromètre à vis pour prendre le mensurations, prouva en 1871-1872 que beaucoup d'amalgames utilisés se contractaient au moment de la prise ; que des modifications dans la forme aussi bien que dans la masse se produisaient lorsque des amalgames étaient utilisés après avoir durci et que ces changements se poursuivaient souvent pendant des jours et même des semaines. FLETCHER et KIRBY prouvèrent tous les deux que les amalgames, compo sés d'argent vierge et de mercure subissaient une expansion importante, quelquefois suffisante pour faire éclater le tube de verre ou la dent dans lesquels ils étaient placés.

Le Dr HITCHCOCK, dans ses expériences en 1874, utilisa les méthodes d'essais de Charles S. TOMES, KIRBY e FLETCHER. Des 10 amalgames testés, tous étaient des alliages, sauf un qui était constitué d'argent précipité avec du mercure. L'un d'entre eux était composé d'argent et d'étain, les huit autres d'argent et d'étain avec des apports d'or, de platine, de cuivre et même de fer. Dans tous les 9 alliages d'argent-étain, à l'exception d'un seu l'étain était l'élément prédominant. Des 10 spécimens, tou subissaient une contraction, à l'exception de l'amalgame d'argent précipité et qui seul subissait une expansion.

Les expériences du Dr BOGUE en 1873 eurent plus particulièrement pour but de déterminer toute action physi logique des obturations en amalgame courantes sur l'homme bien qu'il fit également des essais pour déterminer l'expansion ou la contraction à l'aide d'un micromètre spécialement conçu. Des 12 amalgames étudiés, deux étaient des alliages d'argent et d'étain seulement, sept d'argent, d'étain et d'autres métaux. Il y avait également un alliage composé uniquement d'argent, un autre uniquement de cuivre pur et un autre de palladium pur. Tous les alliages subissaient une contraction ; l'amalgame de palladium pur et l'amalgame d'argent vierge subissaient une expansion ; seul l'amalgame de cuivre pur ne subissait ni expansion ni contraction.

En ce qui concerne les tests physiologiques, 4 dents furent soigneusement obturées avec chacun des 12 alliages. Chacune des 48 dents obturées fut ensuite placée dans différents flacons contenant de la salive dans lesquels on introduisit l'un des quatre acides

chlorhydrique, nitrique, citrique et acétique. Les deux premiers furent choisis en raison de leur action sur les métaux et leur utilisation en médecine, les deux autres à cause de leur constante utilisation dans les aliments et à cause de l'action qu'ils étaient supposés avoir sur les dents. Les flacons furent alors portés à une température constante de 37° C, pendant trois mois ; les échantillons de chacun des flacons furent alors examinés, sans trouver de mercure dans la solution.

On se rendra compte que beaucoup de faits importants avaient déjà été mis en évidence à cette époque, faits de la plus haute importance ; mais ce n'est que 20 ans plus tard que ces faits purent être interprétés.

LA NOUVELLE THEORIE

C'est en 1877 que s'élabora la première action organisée en faveur de l'amalgame, action qui prit le nom de "New Departure" (Nouveau Départ) et dont les Docteurs J. FOSTER FLAGG, Stewart B. PALMER et Henry S. CHASE avaient pris l'initiative. Tous ces hommes avaient un caractère énergique et étaient très estimés de la profession et chacun d'eux avait de nombreux disciples. Ils étudièrent longuement et scientifiquement l'action sur la dentine des matériaux utilisés pour les obturations et, en conclusion de leurs observations et expériences, préconisèrent des modifications dans la théorie et la pratique, conclusions qui furent rédigées par le Professeur FLAGG et approuvées par le Docteur PALMER et le Professeur CHASE et furent connues sous le nom de "New Departure Creed" (Théorie du Nouveau Départ).

CRITERES ACCEPTES	THEORIE DU NOUVEAU DEPART
I. L'or est le meilleur matériau pour conserver les dents.	I. Dans la mesure où les dents ont besoin d'être conservées, l'or est le dernier des matériaux à utiliser
II. La meilleure méthode pour arrêter la carie est de réaliser des obturations d'enveloppement ("contour filling") ou de séparer les dents ("separating teeth").	II. Ni la méthode d'obturations d'enveloppement ("contour filling") ni celle de séparation des dents ("separating teeth") ne contribuent beaucoup à arrêter la carie.
III. L'échec des obturations est dû principalement à une manipulation défectueuse.	III. L'échec des obturations est principalement dû à l'incompatibilité du matériau d'obturation avec la substance dentaire.
IV. Une dent qui vaut la peine d'être obturée mérite de l'être avec de l'or.	IV. Une dent qui peut être traitée afin d'être obturée d'une façon satisfaisante avec un matériau quelconque vaut la peine d'être obturée.
V. Des dentistes malhabiles et sans scrupules obturent les dents avec de l'étain recouvert d'or, causant ainsi une action galvanique, de la pulpite, la destruction de la pulpe, abcès et la perte de la dent.	V. Les dentistes habiles et scrupuleux obturent les dents avec de l'étain recouvert d'or évitant ainsi la carie, la pulpite, la destruction de la pulpe, l'abcès et de cette façon conservent la dent.
VI. Une obturation pour être satisfaisante doit être étanche.	VI. Une obturation peut être satisfaisante pour la dent et cependant ne pas être étanche.
VII. La gutta-percha convenablement utilisée est satisfaisante dans une obturation.	VII. La gutta-percha convenablement utilisée est le produit d'obturation le plus permanent que nous possédions.
VIII.Une bonne obturation en gutta-percha, correctement insérée, est préférable à une mauvaise obturation en or.	VIII.Une mauvaise obturation en gutta-percha convenablement insérée est préférable à une bonne obturation en or.
IX. L'amalgame en soi est un mauvais matériau d'obturation.	IX. L'amalgame en soi est un excellent matériau d'obturation.
X. L'utilisation de matériaux d'obturations plastiques tend à abaisser le niveau de l'Art dentaire et à restreindre son utilité.	X. L'utilisation des matériaux d'obturations plastiques tend à abaisser le niveau de l'Art dentaire dont le critère d'excellence est la "faculté de réaliser des obturations en or", mais elle étend beaucoup son domaine d'utilité dont le standard d'excellence est la faculté de conserver les dents.

Il est facile de déduire que les promoteurs de chacune de ces deux théories étaient peut-être un peu trop enthousiastes dans leurs convictions ; cependant, on doit se souvenir que ces deux théories furent élaborées il y a de nombreuses années. Aucun historique de la pratique des obturations dentaires en amalgame, aussi bref soit-il, ne serait complet s'il ne faisait mention de la Guerre des Amalgames et de la nouvelle théorie, car tout ceci eu une influence importante sur le développement des travaux concernant les obturations en amalgame.

ENTREE DU DR G.V. BLACK SUR LA SCENE DE L'AMALGAME

En 1895-1896, le Docteur G.V. BLACK publia les résultats de son étude remarquable des "Physical Characters of the Human Teeth in relation to their diseases and to Practical Dental Operations, together with the Physical Characters of Filling Materials" ("Caractères physiques des dents humaines en relation avec leur maladies et avec la pratique des opérations dentaires, ainsi que les caractères physiques des matériaux d'obturation").

De nombreux éléments fournis par le Dr BLACK dans cette série de publications n'étaient pas nouveaux. Beaucoup de faits présentés étaient bien connus, mais la signification de ces faits n'avait jamais encore été établie. Le Dr BLACK prit chacun de ces faits isolés, remonta à leur origine, les groupa selon un ordre rationnel, démontra quelles étaient leurs relations, ce qu'étaient leurs effets, comment combattre ou contrôler les facteurs nuisibles et comment utiliser ceux qui étaient utiles.

Son travail consista tout d'abord à établir des bases scientifiques pour la fabrication et la manipulation de l'alliage. Il démontra comment "équilibrer" les éléments de l'alliage en combattant la contraction de l'un deux par l'expansion d'un autre, comment contrôler le fluage, comment fixer les propriétés d'un alliage par un vieillissement artificiel ou recuit afin que ses propriétés soient stabilisées pendant très longtemps, comment malaxer et manipuler l'amalgame pour obtenir des résultats uniformes.

Plus de 40 ans de sa vie professionnelle furent consacrés principalement à élucider des problèmes dont les solutions contribuèrent à ouvrir la voie à des progrès importants.

Lorsque le Dr BLACK commença son travail, on ne pouvait absolument pas compter sur les obturations en amalgame. Il améliora la fabrication des alliages de telle sorte qu'il fut possible de dire "des obturations correctement réalisées avec des amalgames modernes peuvent être presque aussi satisfaisantes que l'or en ce qui concerne leur durée et la protection qu'elles confèrent contre la réapparition de la carie".

ALLIAGES MODERNES

Deux ou trois ans après que le Dr BLACK eut publié son rapport ci-dessus, il proposa d'enseigner les méthodes de fabrication d'amalgame qu'il avait mises au point. Un technicien de la S.S. WHITE DENTAL MANUFACTURING COMPANY fut le premier étudiant qui suivit les cours du Dr BLACK et c'est cet étudiant qui devint le premier fabricant diplômé d'amalgame, ce qui aboutit au lancement du TRUE DENTALLOY en 1900. Même à cette époque, la formule de cet alliage contenait un pourcentage élevé d'argent avec des apports d'étain, de cuivre, de zinc, ce qui en faisait un alliage équilibré, possédant une légère expansion initiale et d'où la contraction était pratiquement éliminée. La théorie du Dr BLACK "Extension for prevention" (étendre pour prévenir ainsi que la sécurité que présentait le True Dentalloy et les autres alliages fabriqués à l'aide de la méthode de BLACK permirent de remanier la technique d'obturation des dents et firent de l'amalgame le matériau d'obturation le plus utilisé dans le monde. Tous les yeux se tournaient vers l'amalgame et des hommes éminents dans toutes les parties du monde effectuèrent des recherches à ce sujet relatant dans les Revues dentaires les résultats qu'ils avaient obtenus.

RECHERCHES SUR DES ALLIAGES POUR AMALGAMES EFFECTUEES PAR LE BUREAU DES STANDARDS

Les premiers travaux sur les alliages pour amalgames effectués par le National Bureau of Standards commencèrent en 1919, afin de déterminer la qualité des alliages pour amalgames sur le marché et pour établir des standards de qualité pour ces matériaux afin de guider le choix des personnes les utilisant. D'après les données réunies au cours de cette investigation, une liste des qualités désirables fut élaborée et incorporée dans la Spécification

Fédérale N° 356, maintenant bien connue, concernant les alliages dentaires, qui fut publiée par le Federal Specification Board en novembre 1925 et qui fut généralement acceptée.

Cette investigation stimula les recherches dans le domaine des amalgames et depuis cette date, presque chaque année, on a enregistré des contributions intéressantes aux publications effectuées sur ce sujet. En avril 1928, la "Scientific Foundation and Research Commission of the American Dental Association" institua une bourse de recherches au National Bureau of Standards et l'une des premières investigations, effectuées sous les auspices du Bureau des Standards et des Groupes Scientifiques de l'A.D.A., fut une étude des alliages pour amalgames, en 1928, afin de connaître combien d'alliages se trouvant sur le marché répondaient à la Spécification Fédérale N° 356. Des 26 alliages étudiés, seulement 6 furent considérés satisfaisants lorsqu'ils étaient comparés à la Spécification Fédérale. Le True Dentalloy était conforme à cette Spécification en ce qui concerne sa composition chimique, et ses propriétés physiques furent considérées satisfaisantes.

Une seconde étude sur les alliages pour amalgames, effectuée en 1929 par le Bureau des Standards et de l'A.D.A., incita à rédiger une nouvelle spécification basée en grande partie sur la Spécification Fédérale mais présentant quelques différences de détail. Cette spécification fut appelée "American Dental Association Tentative Specification for Dental Amalgam Alloys" (Spécification sujette à révision de l'American Dental Association concernant les alliages dentaires pour amalgame) ; elle fut approuvée en octobre 1929.

Des 44 alliages étudiés à la suite de cette seconde spécification, seulement 18 furent considérés comme satisfaisants lorsqu'on les comparait aux Spécifications Fédérales et de l'A.D.A. Le True Dentalloy fut considéré comme conforme. Une autre conséquence des études de 1928-1929 fut une révision peu importante de la Spécification Fédérale N° 356 qui porta dorénavant le N° U-A-451.

En 1932-1933, une troisième étude des alliages fut effectuée par le Bureau des Standards et les bureaux scientifiques de l'A.D.A. Cette étude fut limitée cependant aux seuls alliages dont les fabricants garantissaient leur

produit comme étant conforme soit à la Spécification N° 1 de l'A.D.A., soit à la Spécification Fédérale U-A-451. Cette fois encore, le True Dentalloy fut considéré comme un alliage qui pouvait être utilisé en toute sécurité puisqu'il était conforme aux exigences des deux Spécifications.

En janvier 1934, la Spécification N° 1 de l'A.D.A. fut révisée légèrement pour inclure une clause de protection contre la ternissure, pour prévoir un élargissement des limites de la composition chimique, la réduction de la valeur maximale de fluage de 5 à 4 %, une modification dans les changements dimensionnels dont la tolérance précédemment établie à 1-10 microns par cm passait à 3-13 microns par cm, la suppression des 4 microns maximaux de contraction tolérée pour revenir au premier minimum, à la suppression de la clause de résistance définitive à la compression.

Depuis le 1er février 1960, la température à laquelle les tests pour les changements dimensionnels sont effectués pendant la prise et pour le fluage fut modifiée pour passer de la température ambiante à 37° C $\pm$ 1° C. Les changements dimensionnels furent limités à 0-20 microns. La contrainte de compression appliquée dans le test de fluage fut réduite à 105 kg par cm^2, tandis que le fluage maximal permis resta fixé à 4 %.

C H A P I T R E I I

CLASSIFICATION DES CAVITES

DE CARIE ET D'OBTURATION

CAVITES DE CARIE

La reconstitution prothétique de pertes de substance dues à la carie doit tenir compte non seulement de l'extension de la carie elle-même, mais aussi des propriétés physiques et chimiques de la substance obturatrice.

Il convient à ce propos de rappeler que l'on confond trop souvent deux sortes de cavités :

- celles de la carie qui existe, dont nous constatons la présence,

- celles que le praticien prépare en leur donnant une forme définie.

BLACK a établi une classification célèbre des cavités de carie. Il s'agit d'une classification selon le siège d'origine de la carie. Nous la reproduisons pour mémoire :

- Classe I : cavités de carie intéressant les anfractuosités de toutes les dents (sillons, fossettes).

- Classe II : cavités de carie intéressant les faces proximales des prémolaires et des molaires.

- Classe III : cavités de carie intéressant les faces proximales des incisives et canines, mais n'intéressant pas l'angle incisif.

- Classe IV : cavités de carie intéressant les faces proximales des incisives et canines et intéressant (c'est-à-dire détruisant) l'angle incisif.

- Classe V : cavités de carie intéressant le tiers gingival de toutes les dents.

On peut remarquer que les 5 classes de BLACK se groupent en réalité en 3 grandes divisions :

1. Les caries sont situées dans les anfractuosités de toutes les dents.

Elles constituent la classe I.

2. Les caries sont situées sur les faces proximales :

   - des prémolaires et molaires.

   Elles constituent la classe II.

   - des incisives et canines (sans perte de l'angle incisif).

   Elles constituent la classe III.

   - des incisives et canines (avec perte de l'angle incisif).

   Elles constituent la classe IV.

3. Les caries sont situées au 1/3 gingival de toutes les dents.

   Elles constituent la classe V.

CAVITES D'OBTURATION

La classification de BLACK situe le siège de la carie mais n'indique pas quelle cavité d'obturation l'on doit réaliser.

Une autre classification, dont JOHNSON est le père, est plus simple : c'est une classification des cavités pour obturation et non une classification du siège des cavités de carie. Il n'existe que deux catégories de cavités :

- les cavités simples dont la taille n'intéresse qu'une seule face de la dent ;

- les cavités composées qui intéressent deux ou plusieurs faces de la dent.

Cette classification réduite oblige à définir davantage les cavités et à les nommer selon les faces qu'elles intéressent : cavité triturante, cavité mésio-occluso-distale, par exemple. Elle définit la forme, la taille de la cavité (d'obturation) mais n'indique pas le siège de la lésion.

PREPARATION DES CAVITES

Toute la dentisterie opératoire de la préparation des cavités s'inspire des principes et de la méthode scientifique instaurée par BLACK à ce sujet.

Cet auteur a condensé son enseignement dans un mode opératoire devenu classique et valable pour tous les types de matériaux d'obturation. Il décrit en sept temps opératoires les conditions à remplir pour la taille d'une cavité parfaite. Ces sept temps sont les suivants :

1. ouverture et contour extérieur de la cavité, les temps opératoires étant fixés :

   - par des principes prophylactiques : il faut étendre la cavité à des zones d'immunité relative à la carie,

   - par des principes mécaniques : pas d'émail qui ne soit soutenu par de la dentine solide, aux endroits soumis aux forces de la mastication ;

2. résection de la dentine cariée, temps fondamental, le fond de la cavité devant être minutieusement examiné pour voir si la pulpe n'est pas exposée ;

3. forme de résistance : c'est la forme donnée à la cavité pour résister aux forces de mastication. La cavité doit avoir la forme d'une boîte à fond plat et parois parallèles, perpendiculaires au fond ;

4. forme de rétention : elle complète la forme de résistance pour maintenir l'obturation dans la cavité. Le fond de la cavité sera plus large que son ouverture ;

5. forme de convenance : c'est une forme donnée à la cavité pour faciliter l'insertion et l'immobilisation des premiers morceaux d'or dans une aurification ;

6. finition des parois d'émail : clivage et biseautage des parois d'émail pour éviter les fractures ou le détachement des prismes ;

7. toilette de la cavité, nettoyage, stérilisation et séchage avant l'obturation.

De l'étude de BLACK se détachent deux grands principes : le principe mécanique et le principe prophylactique.

- Principe mécanique :

l'obturation doit être fixée dans la cavité :

. par la stabilité de l'obturation,
. par la rétention de la cavité.

- Principe prophylactique :

la résistance des parois doit éviter la fracture de la dent ; la résistance des bords de l'émail et de l'obturation doit éviter la récidive de la carie par fractures des bords d'émail ou des bords de l'obturation.

L'extension préventive de la cavité initiale doit être assurée pour éviter les récidives de carie dans les zones dangereuses de la dent.

L'ensemble de ces principes peut être résumé comme suit :

1. l'obturation ne doit pas se désinsérer (fixité de l'obturation) :

. stabilité de l'obturation,
. rétention de la cavité ;

2. la dent doit résister ⟶ résistance des parois ;

3. la carie ne doit pas récidiver :

. résistance des bords de la dent,
. résistance des bords de l'obturation,
. extension prophylactique.

REMARQUES

En conclusion de ce chapitre, nous ferons les remarques suivantes, se rapportant aux restaurations effectuées au moyen de l'amalgame.

1. Les causes d'échec peuvent être de deux ordres :

   a) mauvaise préparation de la cavité,

   b) mauvaise préparation de l'amalgame.

2. Les statistiques américaines portant sur des dizaines de milliers d'obturations incriminent une mauvaise préparation de la cavité dans 60 % des échecs notés.

CHAPITRE III

L'AMALGAME

PLACE DE L'AMALGAME

EN DENTISTERIE OPERATOIRE

Pour schématiser au maximum, nous dirons que la carie dentaire provoque une désintégration progressive de la dent et que la dentisterie opératoire consiste à restaurer la fraction de la dent ainsi désintégrée.

Diverses substances sont apportées pour réaliser cette reconstitution : l'or, les ciments, la résine, la céramique et les amalgames.

Il est positivement admis que pour donner satisfaction, ces substances doivent :

1. remplir les conditions d'esthétique,
2. présenter une bonne adaptation aux parois de la cavité,
3. résister aux forces de mastication,
4. être mauvaises conductrices des variations thermiques,
5. ne pas être attaquées par les liquides buccaux,
6. présenter un minimum d'expansion ou de contraction après insertion dans la cavité à restaurer,
7. offrir une facilité maximale de manipulation,
8. présenter une stabilité suffisante dans le temps.

C'est donc en évaluant la position de l'amalgame vis-à-vis de ces points cardinaux de base que l'on pourra utiliser l'amalgame pour une restauration.

Il ne nous appartient pas de développer ici les indications de l'amalgame, nous préciserons simplement qu'elles sont parfois formelles et indiscutables, mais que, par ailleurs, dans de nombreux cas, des considérations plus approfondies seront nécessaires pour déterminer avec le maximum de chances de succès le choix d'un matériau.

En règle générale, nous pensons pouvoir affirmer que si l'inlay parfait, ou tout au moins presque parfait, n'est pas réalisable pour des raisons matérielles, techniques ou psychologiques, l'amalgame s'impose ; il y a d'ailleurs un principe qui est toujours vrai et auquel il

faut songer lorsqu'on hésite entre un amalgame ou un inlay, c'est qu'il vaut mieux réaliser un bon amalgame qu'un inlay "moyen", et qu'il est plus facile d'exécuter un bon amalgame qu'un inlay même simplement "moyen".

Ces quelques rapides considérations ont pour seul but de montrer combien les indications de l'amalgame sont fréquentes en dentisterie opératoire (70 % au minimum).

NATURE DE L'AMALGAME

L'amalgame est une combinaison de deux ou de plusieurs métaux dont l'un est le mercure.

L'alliage de l'amalgame dentaire, c'est cette combinaison de métaux qui, mélangée avec le mercure, produit l'amalgame.

L'étude de la nature de l'amalgame nous paraît intéressante dans le domaine pratique, car elle va nous montrer combien les propriétés essentielles de l'amalgame peuvent varier selon les variations de composition ou de fabrication de l'amalgame.

L'amalgame d'argent dentaire est essentiellement composé d'argent et d'étain avec de petites quantités de cuivre et de zinc.

Les possibilités d'utilisation de l'alliage de l'amalgame dentaire dépendent de l'action de solvant que remplit le mercure vis-à-vis de l'alliage à la température ambiante, formant une masse qui devient plastique sous l'effet de l'agitation et qui durcira secondairement. Ce processus de prise, de durcissement, est produit par la formation de phases intermétalliques métastables ou non. Jusqu'à présent, les réactions physico-chimiques qui se passent dans ces alliages ont été décrites d'une façon qui nous paraît un peu simpliste, ainsi :

Dans cet alliage amalgame, l'argent et l'étain sont les matières de base, représentant plus de 90 % de la composition totale.

Ces deux métaux forment le composé métallique : Ag_3Sn qui contient environ 73 % d'argent et 27 % d'étain.

Quand ce composé réagit avec le mercure, il est admis que la réaction suivante se produit :

$$Ag_3Sn + 4\ Hg = Ag_3Hg_4 + Sn$$

Deux autres composés entre Ag et Hg : Ag_3Hg_2 et Ag_3Hg doivent exister, mais seulement celui qui est indiqué dans la réaction est facilement repéré.

L'étain, cependant, retiendra pendant assez longtemps un très faible pourcentage de mercure en solution sans prise.

Le composé Ag_3Hg_4 contenant environ 29 % d'argent et 71 % de mercure en poids a un aspect arborescent.

On pense que la formation de ce composé dans la masse de l'amalgame, avec des cristaux entrelacés, est responsable de la prise et du durcissement.

La présence des autres métaux, en faibles pourcentages, ne doit pas, cependant, être ignorée puisque l'on sait qu'elle a une grande influence sur le comportement de l'amalgame pendant sa manipulation et après son insertion dans la cavité.

COMPOSITION DE

L'ALLIAGE D'AMALGAME

Jusqu'à ce jour, on ne connaît pas sur le marché de produit utilisable en dentisterie qui ne contienne pas de un à trois métaux alliés à l'argent.

Ces métaux servent à rendre la masse propre à la condensation ou à améliorer les qualités de la masse après sa prise.

Pour qu'un amalgame soit accepté sur le marché américain, sa composition doit correspondre aux normes établies par l'American Dental Association. Nous schématisons ces normes dans le tableau ci-dessous :

Métal	A.D.A. normes	% moyens
Argent	65 minimun	68 à 70,5
Cuivre	6 maximum	3 à 4,5
Zinc	2 maximum	0,5 à 1,5
Etain	25 minimun	25 à 27

Jusqu'à présent, l'amalgame qui contient le plus d'argent en contient 74,5 %.

Un pourcentage élevé de cuivre confère à l'amalgame des propriétés antiseptiques, mais noircit en bouche.

Si on diminue le pourcentage d'argent, l'amalgame est plus facile à manipuler et s'adapte mieux aux parois de la cavité, mais ses propriétés physiques varient alors.

En général, on peut dire que les quatre métaux dans les proportions moyennes exigées par "l'American Dental Association" sont essentiels pour l'obtention d'un amalgame qui réponde aux exigences de la dentisterie.

Un pourcentage élevé d'argent est essentiel pour obtenir une prise rapide de la masse qui aura un fluage relativement bas, un coefficient d'expansion correct et une résistance à la pression satisfaisante.

L'argent est donc la matière de base qui donne les qualités que l'on exige d'un amalgame en dentisterie.

La présence d'étain, de cuivre et de zinc, modifie les réactions et les propriétés physiques de l'amalgame.

L'étain se combine vite avec le mercure, il tendrait donc à contrôler le temps de prise de l'amalgame et à réduire l'expansion pendant la prise de la masse. En quantité excessive, l'étain diminue la résistance de l'amalgame et augmente le pourcentage de fluage.

Le cuivre, en petite quantité, aide à contrôler les propriétés physiques en diminuant le fluage et en augmentant la résistance.

Le zinc, en petite quantité, agit comme un désoxydant, libère donc un oxyde qui évite le noircissement ultérieur de l'amalgame.

Afin de produire un amalgame satisfaisant, le fabricant doit donc déterminer d'abord les proportions correctes des différents métaux utilisés.

Par des traitements thermiques adéquats, le fabricant peut modifier, dans une certaine mesure, les propriétés physiques ; en tout cas, il semble qu'il existe là des possibilités d'amélioration de l'amalgame à étudier.

Il faut également parler d'une question importante et d'actualité : les dimensions et la forme des particules de l'alliage.

On vient, en effet, de lancer sur le marché, des amalgames à particules sphéroïdales, de dimensions allant de 10 à 37 microns. Ces amalgames demandent une proportion moindre de mercure, puisqu'on doit les utiliser en combinant alliage et mercure, en poids égaux : ils présentent des qualités séduisantes pour le praticien puisqu'ils exigent une pression infime pour leur insertion dans la cavité et qu'ils présentent une résistance à la compression très rapide dans le temps.

Nous précisons dès maintenant que nous avons étudié les propriétés physiques de ces amalgames, évidemment comme celles des amalgames classiques et nous exposerons nos résultats.

PROPRIETES DES AMALGAMES

Les conditions auxquelles doit répondre un amalgame pour satisfaire aux exigences de l'American Dental Association sont liées à des règles d'utilisation satisfaisantes :

1. amalgamation en trois minutes,
2. absence de granulations ou de poussières une fois l'amalgamation terminée,
3. possibilité de modelage à la surface au moins quinze minutes après amalgamation,
4. possibilité de polissage, vingt-quatre heures après insertion.

Deux propriétés physiques seulement doivent être confirmées :

1. réactions dimensionnelles pendant la prise,
2. pourcentage de fluage de la masse durcie soumise à une pression constante.

La contraction de l'amalgame doit être nulle et la dilatation ne doit pas dépasser 20 microns par centimètre, 24 heures après la prise.

Le fluage doit être inférieur à 4 %, 21 heures après la prise.

Le praticien ne contrôle certes pas les facteurs qui interviennent dans la production de l'amalgame, mais il est directement responsable de ceux qui règlent la manipulation de l'amalgame.

Tous les facteurs suivants, dont la plupart sont contrôlés par le praticien, influencent le comportement de l'amalgame en tant que restauration :

1. la dimension et la forme des particules de l'alliage,
2. l'âge et l'état des surfaces de ces particules,
3. la dimension, la forme et la surface du mortier et du pilon,
4. le pourcentage mercure-alliage utilisé pour faire l'amalgame,

5. la masse totale mélangée,
6. la vitesse et la pression exercée au cours de l'amalgamation,
7. la façon de tenir le mortier dans la main,
8. le temps de malaxage dans le mortier,
9. la façon d'exprimer le mercure,
10. la rapidité de condensation dès que l'amalgame est prêt,
11. la pression lors de la condensation,
12. la contamination par l'humidité apportée éventuellement pendant le malaxage ou la condensation,
13. dans le cas de malaxage automatique, les proportions mercure-alliage et le temps de trituration.

C H A P I T R E I V

ETUDE METALLURGIQUE

NATURE DE L'ALLIAGE

C'est-à-dire : composition chimique globale des phases qu'on est susceptible de rencontrer dans l'alliage, si dans l'état de réception il était en état d'équilibre thermodynamique, ce que nous ne savons pas.

On peut donc concevoir, a priori, que le mode de fabrication de la poudre de cet alliage va avoir une influence sur les propriétés de l'amalgame, toutes choses étant égales par ailleurs (c'est-à-dire manipulations faites dans des conditions absolument identiques).

Le phénomène de solidification et de consolidation des amalgames est extrêmement compliqué, puisqu'il dépend en réalité, de nombreuses variables.

Il faut donc déterminer le nombre de ces variables et voir quelle est leur influence.

A priori, du point de vue pratique de l'opérateur, on penserait d'abord au dosage et moins au fait que les alliages qu'on utilise ne sont pas en état d'équilibre thermodynamique.

On penserait ensuite à la composition chimique, à la proportion de mercure et, pour une proportion donnée de mercure, on songerait à l'influence du préparateur, dans le cas de préparation manuelle, c'est-à-dire, à l'influence de celui-ci en ce qui concerne la fabrication de l'amalgame et la façon de le mettre en oeuvre.

Pour un opérateur donné, on penserait aussi au temps de trituration. Mais, un problème auquel le praticien ne songerait probablement pas est celui des réactions interfaciales entre le mercure et la poudre de l'alliage.

Etant donné les impératifs que doivent présenter les alliages, une fois mis en oeuvre, il faut étudier lesdites propriétés à l'aide d'appareils que nous avons été amené à mettre au point.

Tous les phénomènes physico-chimiques, qui peuvent se produire au cours de la consolidation, peuvent se traduire par des anomalies dilatométriques principalement et, à un degré beaucoup moindre, par des évolutions différentes de la résistance au fluage sous compression.

IDEES GENERALES SUR LA CONSOLIDATION DES AMALGAMES

Quand on a réalisé un amalgame, on fait un nouvel alliage, qui de binaire devient ternaire par adjonction de mercure : on a effectivement fait de la métallurgie.

Analysons ce qui se passe quand on fait un amalgame : on prépare un alliage à base de mercure, mais on ne prépare pas un alliage homogène, parce qu'intentionnellement on ne dissout pas totalement l'alliage Ag-Sn dans le mercure, mais seulement une partie.

On obtient donc, après solidification, une matrice et des globules de l'alliage Ag-Sn ; ces globules assurent une résistance minimale à l'alliage. Mais ces particules sont trop grosses et trop dispersées pour assurer un obstacle suffisamment important aux déplacements des dislocations et par conséquent, l'alliage, aussitôt mis en oeuvre, présentera une résistance minimale à une compression donnée.

La matrice à base de mercure n'étant pas en état d'équilibre thermodynamique, elle va donc subir des transformations physico-chimiques.

On peut imaginer que, dedans, il va se former des petites particules : des précipités très fins dont les dimensions peuvent être de l'ordre de 1000 Å, précipités de phases qu'on appellera intermétalliques, c'est-à-dire des composés assez bien définis, dont la structure cristalline est différente de celle de la matrice. Le retour vers l'état d'équilibre thermodynamique ne se fait pas directement en un seul stade, mais par une série de stades intermédiaires, chacun d'entre eux correspondant à la formation d'une phase métastable.

La consolidation de l'alliage est donc due à cette formation de précipités qui se produisent dans cette matrice qui est un alliage de Hg, Ag, Sn et d'un peu de Cu.

Les petits précipités assureraient la résistance mécanique relativement importante de ces alliages.

Donc, selon la façon dont on prépare l'amalgame, dont on le triture, selon la grosseur des particules initiales, comme cet alliage se fait par réaction interfaciale entre le mercure et les grains d'alliage, il est

évident que la taille des grains de poudre (toutes choses étant égales d'ailleurs) aura une influence sur les propriétés de consolidation.

Comme les vitesses de réaction sont des fonctions exponentielles de la température, on voit donc que le mode de trituration peut avoir aussi une influence par l'intermédiaire de l'élévation de température résultant de la puissance mécanique dissipée.

On se rend compte que le phénomène de durcissement va être extrêmement complexe puisque toutes ces variables, que l'on vient d'énumérer, auront une action sur la vitesse de formation des différentes phases métastables) qui vont se précipiter dans la matrice à base de mercure au cours de la consolidation de l'alliage et que ceci va se traduire par des comportements différents de l'évolution des dimensions de l'éprouvette au cours du temps et de sa résistance à la compression.

On peut remarquer que quelques phases métastables peuvent ne pas apparaître ou apparaître et disparaître trop rapidement pour être visibles dans les conditions expérimentales qui ont été respectées et qui correspondent aux normes de l'American Dental Association.

Nous allons maintenant décrire les résultats des expériences de dilatométrie et de fluage effectuées sur divers amalgames.

DILATOMETRIE

APPAREILLAGE

La figure 1 présente un schéma du dispositif expérimental. Sur l'éprouvette, disposée verticalement, vient appuyer une tige de quartz portant à son extrémité supérieure un petit morceau de lame de rasoir dont le bord tranchant est disposé horizontalement. Une fente, perpendiculaire au tranchant, a été taillée à l'aide d'une scie diamantée mince. La largeur de la fente a été déterminée à la machine à mesurer. Les déplacements verticaux du tranchant de la lame de rasoir, égaux aux variations de longueur de l'éprouvette, sont amplifiés à l'aide d'un objectif de microscope et projetés sur une règle graduée disposée verticalement, l'amplification étant déterminée en mesurant la largeur de l'image de la fente de la lame de rasoir.

La cellule de mesure est thermostaté à $\pm$ 1/10 de degré près.

L'objectif du microscope est porté par un statif très rigide muni de deux mouvements de translation perpendiculaires pour faciliter la mise au point avant l'expérience.

La règle est portée par un statif muni d'un mouvement de translation vertical de façon à ajuster le zéro au début de l'expérience. Sa distance à la cellule de mesure est d'environ 4 mètres.

La règle graduée est dépolie très finement de façon à former une image nette du tranchant de la lame de rasoir.

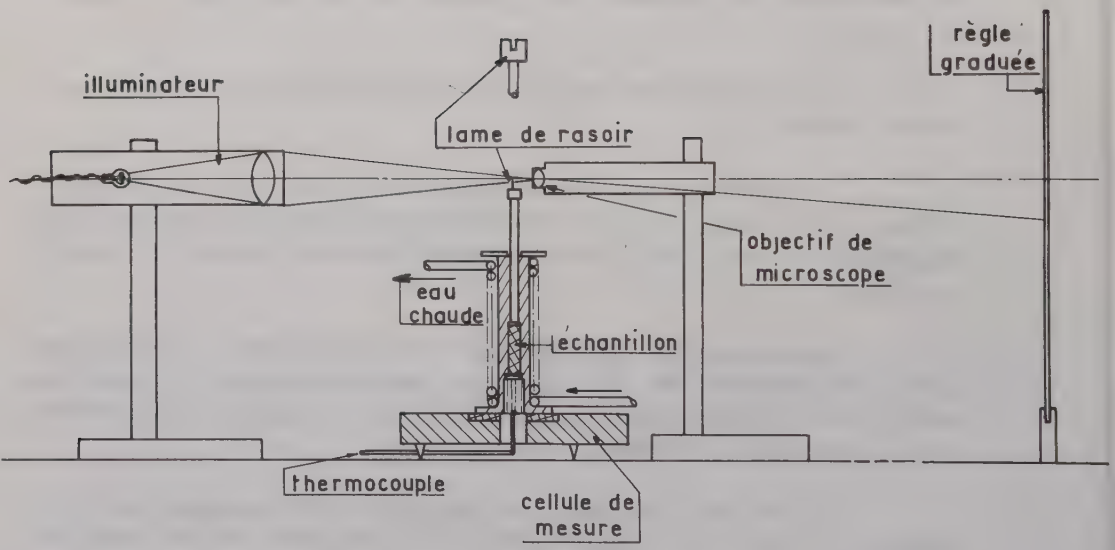
L'amplification optique des variations de longueur de l'éprouvette est d'environ 250. L'erreur de lecture sur la règle graduée étant de l'ordre de $\pm$ 0,05 mm et la longueur de l'éprouvette étant égale à 20 mm, il s'en suit que l'erreur commise sur les variations de longueur de l'éprouvette sont de l'ordre de :

$$\pm \frac{0,05}{2 \times 250} \quad \text{soit} \pm 0,1 \text{ micron/cm.}$$

Remarque

On a employé une tige de quartz pour éviter les dilatations ou contractions éventuelles de la partie de la tige sortant de l'appareil, sous l'action des variations de température de la pièce.

Figure 1

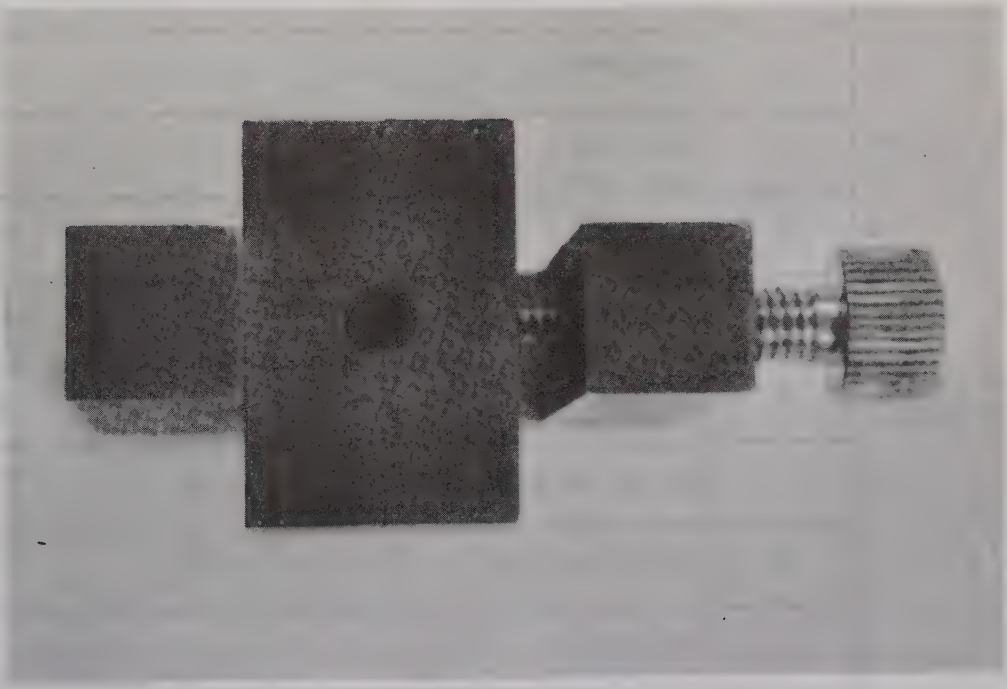


SCHEMA DE L'APPAREIL DE DILATATION

CONDUITE DES EXPERIENCES

Les expériences ont été faites sur des éprouvettes cylindriques de 4 mm de diamètre et de 20 mm de longueur obtenues par compactage de l'amalgame dans un moule cylindrique en deux pièces pour en faciliter leur extraction après la prise.

Figure 2



Quinze minutes environ après la fin de l'amalgamation, l'éprouvette était introduite dans la cellule de mesure maintenue à 37° C ± 0,1° C et les mesures commençaient immédiatement après que l'éprouvette se soit mise en température ce qui nécessitait une durée de chauffage de l'ordre de 2 minutes.

RESULTATS EXPERIMENTAUX

Les résultats ci-dessous sont relatifs à des amalgames préparés manuellement.

Le tableau ci-dessous présente la nomenclature des différents amalgames étudiés.

Numéro de l'expérience	Alliage	Masse de mercure / Masse d'alliage	Temps d'amalgamation (exprimé en s)	Temps de prise (exprimé en mn)
1	THERSA 9173 C	$\frac{7}{6}$	90	10
2	THERSA 9173 C	$\frac{7}{6}$	50	12
3	THERSA 9173 C	$\frac{6}{6}$	70	9
4	THERSA 9172 C	$\frac{7}{6}$	50	12
5	THERSA 9172 C	$\frac{7}{6}$	60	10
6	THERSA 9172 C	$\frac{6}{6}$	40	12
7	NEW TRUE DENTALLOY	$\frac{7}{6}$	60	9
8	NEW TRUE DENTALLOY	$\frac{6}{6}$	35	4
9	SHOFU 9174 C	$\frac{7}{6}$	40	8
10	SHOFU 9174 C	$\frac{6}{6}$	60	5
11	SHOFU 9174 C	$\frac{5,22}{6}$	45	4

Nota : Toutes les expériences ont été faites en utilisant une cellule de mesure en laiton à l'exception de l'expérience n° 1 pour laquelle on a utilisé une cellule de mesure en acier.

Les figures 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 présentent les résultats obtenus ; sur chaque figure on a porté : à droite les déplacements d, exprimés en millimètres, de l'image du tranchant de la lame de rasoir, et à gauche les variations de longueur $\frac{\Delta l}{l_o}$, exprimées en microns par centimètre, des éprouvettes.

Figure 3
(Expérience n° 1)

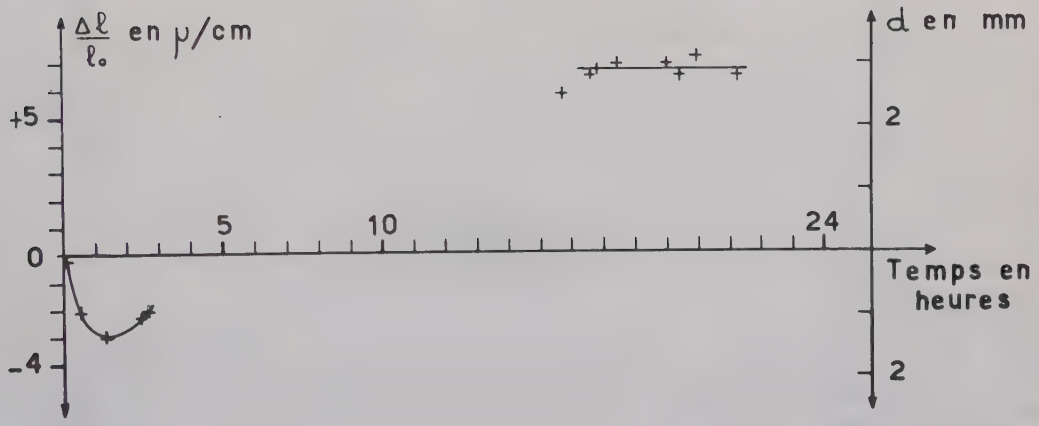


Figure 4
(Expérience n° 2)

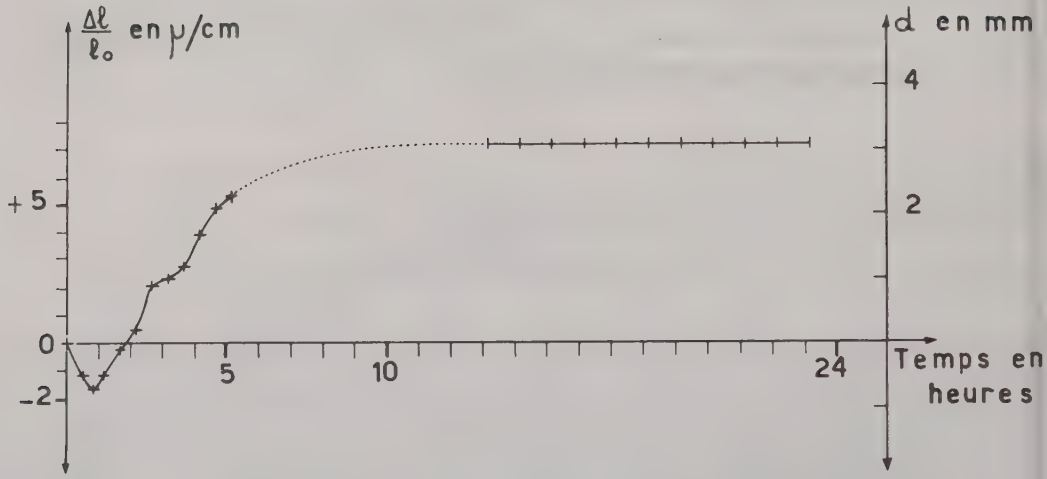


Figure 5
(Expérience n° 3)

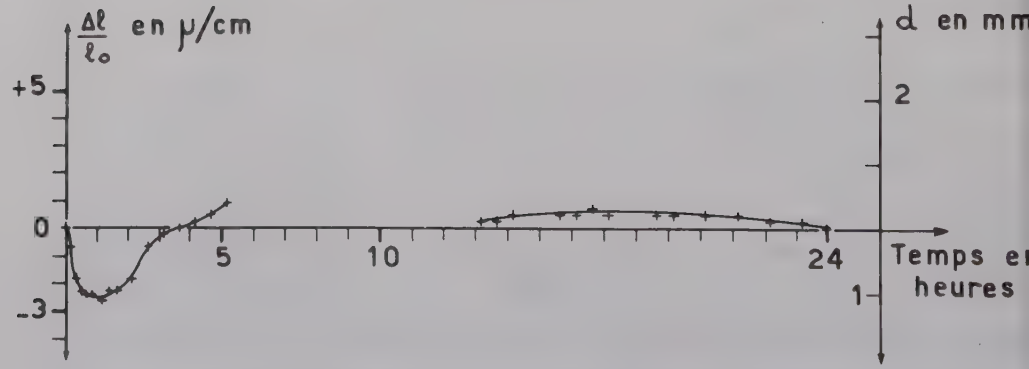


Figure 6
(Expérience n° 4)

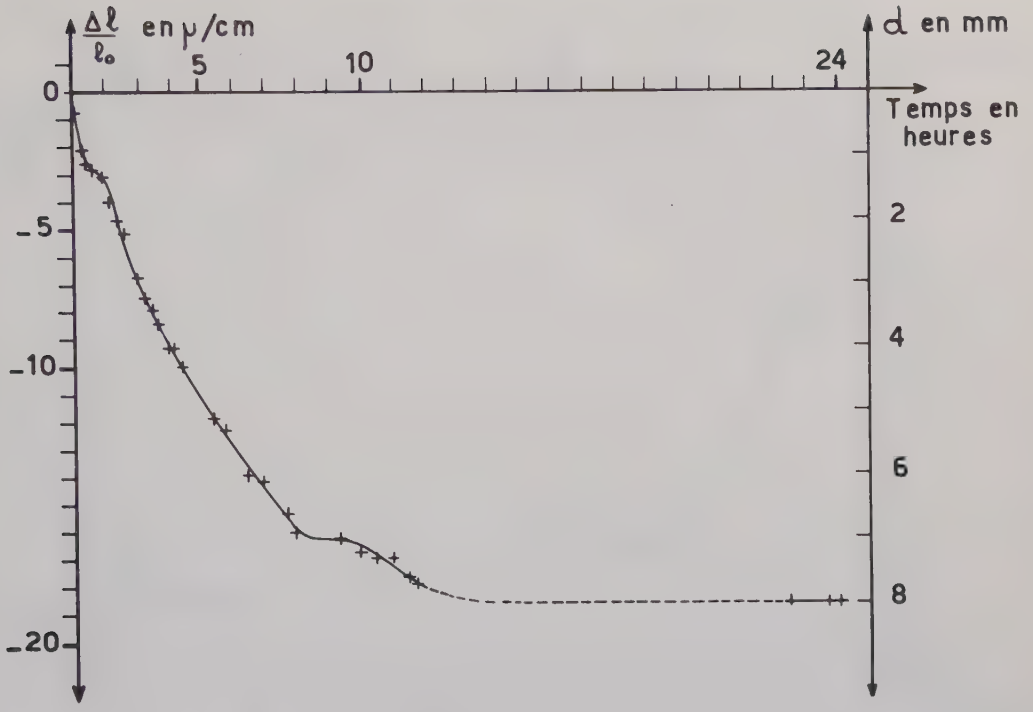


Figure 7
(Expérience n° 5)

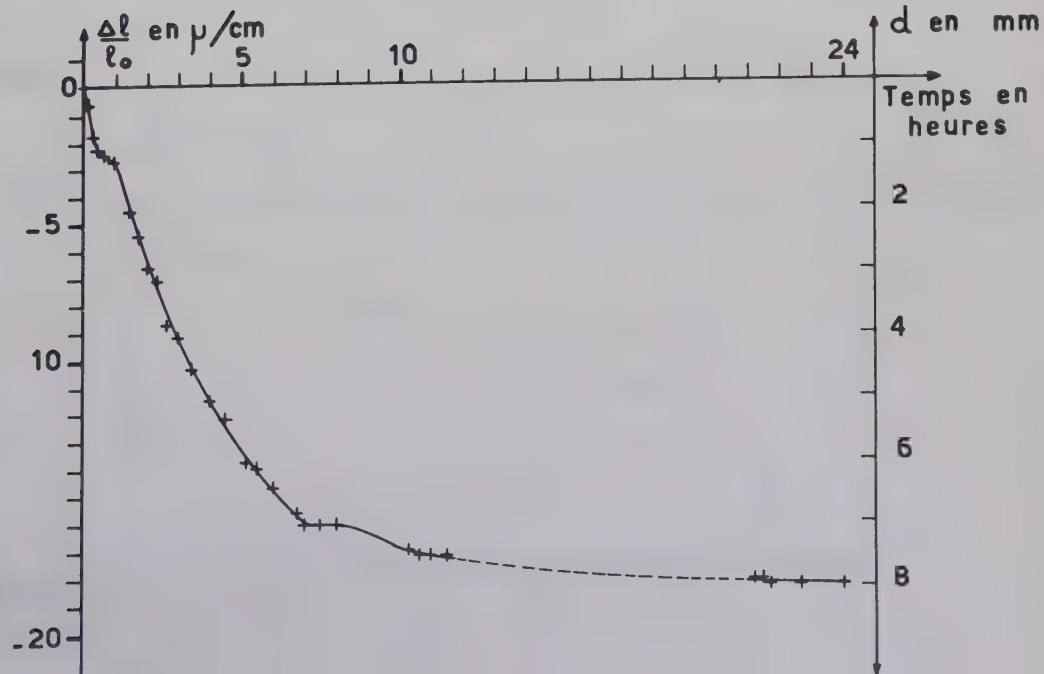


Figure 8
(Expérience n° 6)

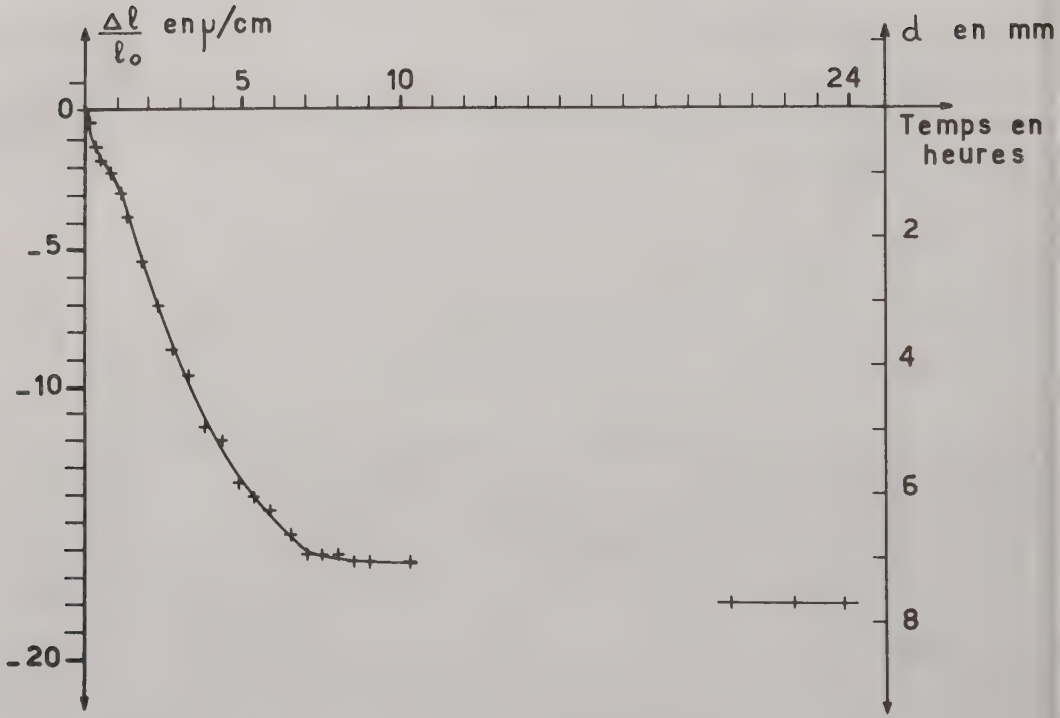


Figure 9
(Expérience n° 7)

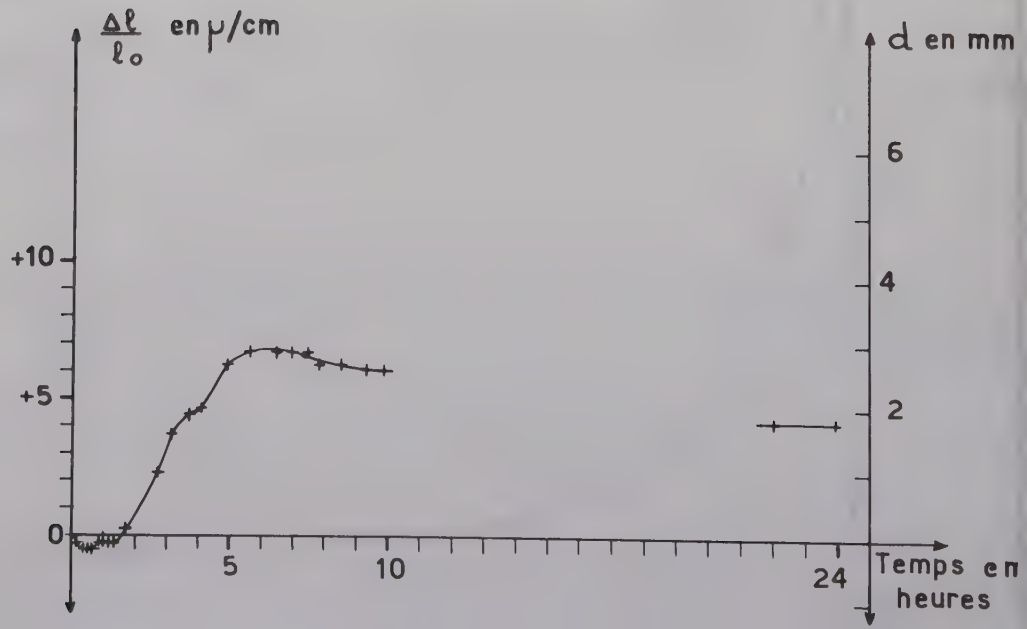


Figure 10
(Expérience n° 8)

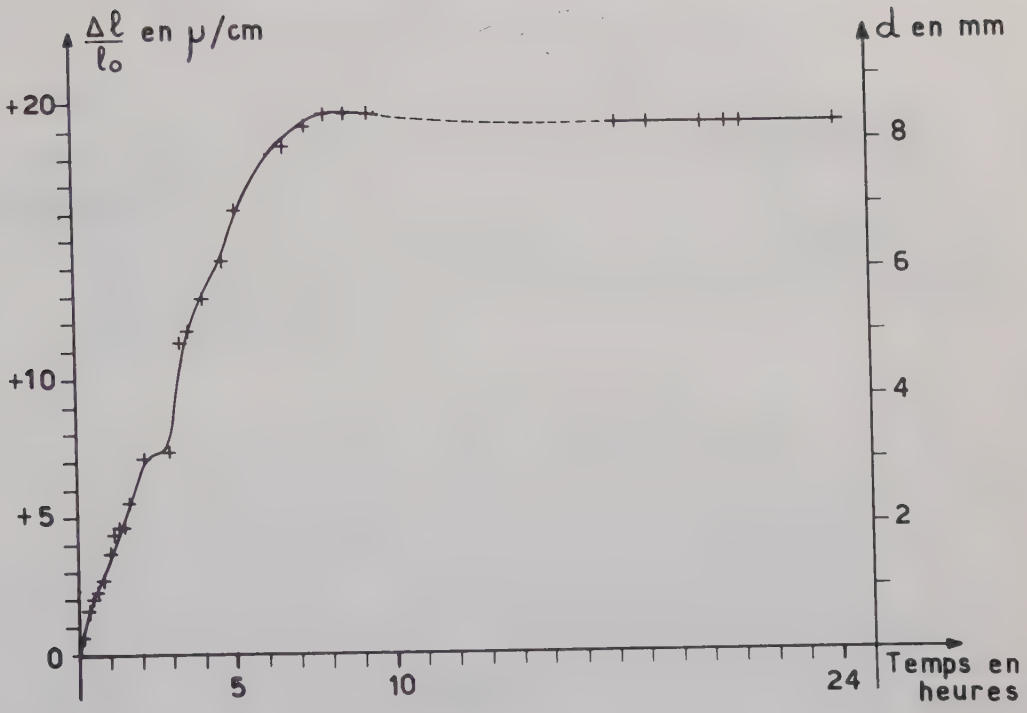


Figure 11
(Expérience n° 9)

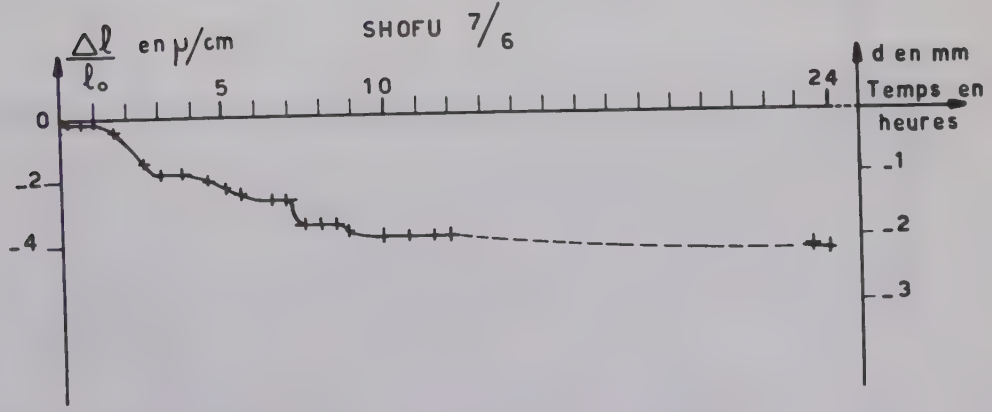


Figure 12
(Expérience n° 10)

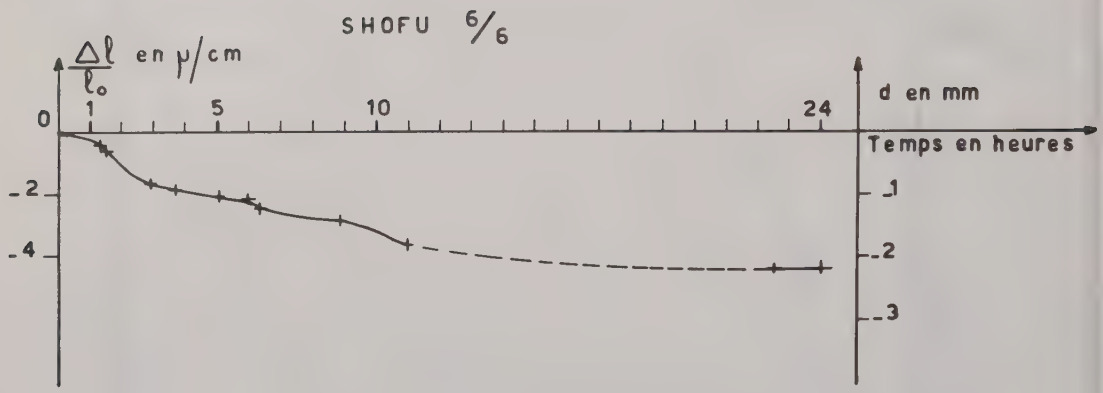
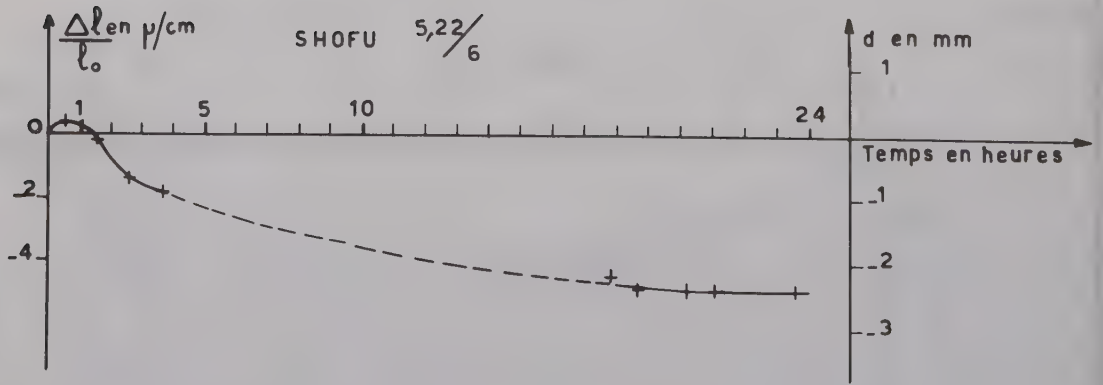


Figure 13
(Expérience n° 11)



DISCUSSION DES RESULTATS EXPERIMENTAUX

Les graphiques des figures 6 et 7 montrent :

1. Que la nature du métal constituant la cellule de mesure n'a pas d'influence sur les résultats des expériences dilatométriques.

2. Que la reproductibilité des mesures est excellente : les deux courbes obtenues sont pratiquement superposables et les singularités observées se reproduisent pour des temps sensiblement égaux.

Nous pouvons donc en conclure que les irrégularités présentées par les courbes de dilatométrie isotherme ne sont pas dues à une dispersion quelconque des mesures, mais à une succession de transformations physico-chimiques se produisant dans la matrice au cours du durcissement des amalgames. La théorie de la réaction du mercure sur l'alliage, résumée par la formule $Ag_3Sn + 4Hg = Ag_3Hg_4 + Sn$ *est donc beaucoup trop simpliste et devra, en conséquence, être considérablement améliorée.*

L'examen des courbes de dilatométrie isotherme des amalgames étudiés montre qu'il existe au moins trois transformations de phases successives au cours de leur durcissement.

On peut voir que :

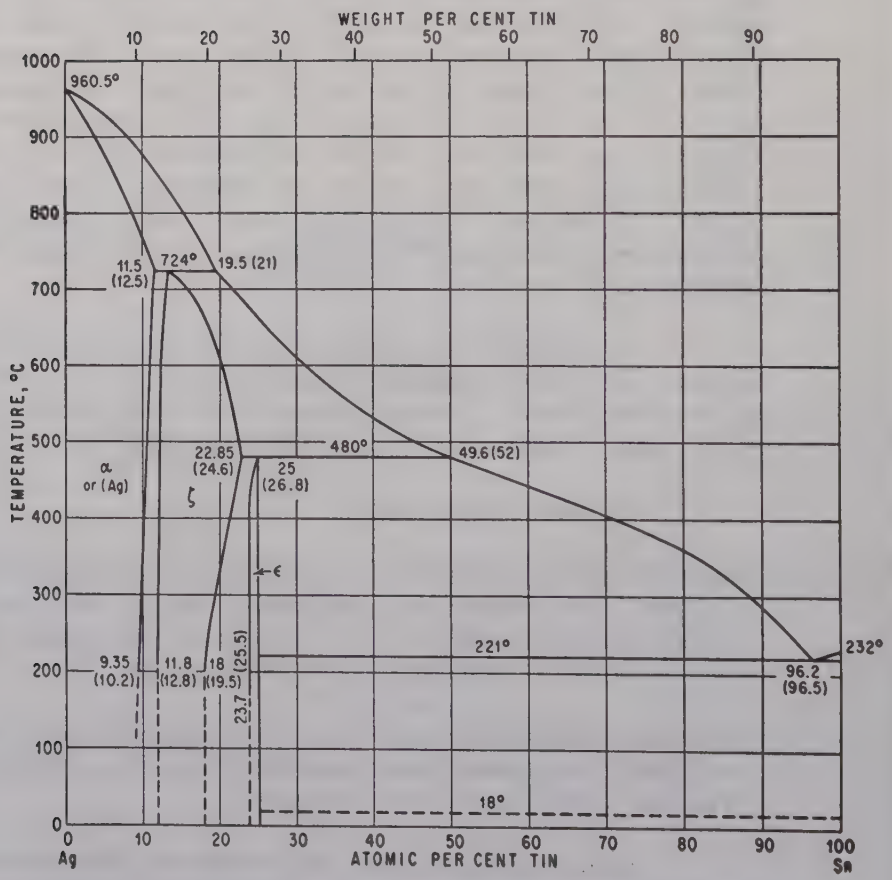
- les amalgames préparés à partir des alliages Thersa 9173 C et New True Dentalloy subissent une dilatation, celle-ci étant plus élevée avec le New True Dentalloy qui présente d'ailleurs un maximum de dilatation ;

- les amalgames préparés à partir des alliages Thersa 9172 C et Shofu subissent une contraction, plus forte avec le Thersa 9172 C qu'avec le Shofu.

Pour expliquer les différences d'évolution dilatométrique présentées par les amalgames préparés à partir des alliages étudiés, on penserait, a priori, à des compositions chimiques différentes.

Or, les alliages 9173 C et 9172 C ont la même composition chimique (Ag : 71 %, Sn : 25,85 %, Cu : 2,35 %, Zn : 0,8 %) très légèrement différente de celle de l'alliage Shofu (Ag : 70 %, Sn : 28 %).

Il s'en suit que les alliages 9173 C et 9172 C sont constitués, en principe, de phase ε pure, et que le Shofu est également pratiquement monophasé comme le montre le diagramme d'équilibre Ag-Sn ci-dessous.



Il semble, par conséquent, impossible d'expliquer la dilatation ou la contraction observées selon les alliages utilisés par une différence de leur composition chimique.

Il est remarquable que les amalgames préparés à partir d'alliages à granulométrie grossière (New True Dentalloy et Thersa 9173 C) subissent une dilatation finale tandis que ceux préparés à partir d'alliages à granulométrie fine (Thersa 9172 C et Shofu) subissent une contraction finale.

Les figures 14, 15, 16, 17 présentent, à la même échelle (grossissement 250), les agrandissements microphotographiques des contours des grains des alliages New True Dentalloy, 9173 C, 9172 C, Shofu.

Figure 14
New True Dentalloy

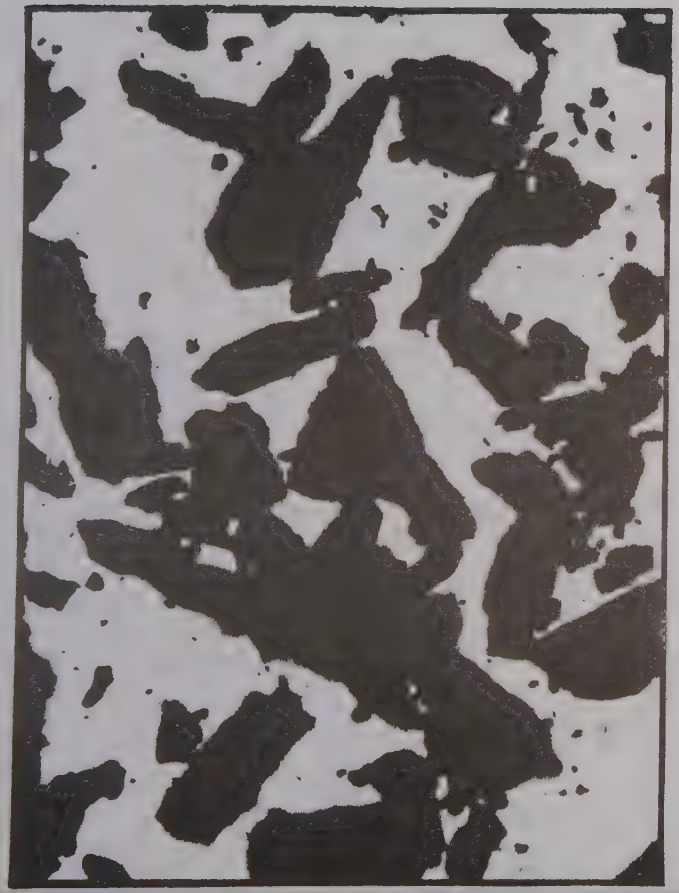


Figure 15
9173 C

Figure 16
9172 C

Figure 17
Shofu

Il semble donc que la tendance à la dilatation ou à la contraction finales des amalgames dentaires, préparés à partir des alliages dont la composition chimique est conforme aux normes de l'A.D.A., est étroitement liée à la granulométrie des poudres de ces alliages.

Pour expliquer ce fait, on pourrait émettre l'hypothèse suivante : la contraction étant due à la dissolution de l'alliage dans le mercure, plus celle-ci est élevée, plus la contraction est grande ; mais cette dissolution résulte d'une action interfaciale entre le mercure et la poudre de l'alliage, donc plus celle-ci est fine, plus, pour un poids donné de poudre, la surface réactive est grande et plus la dissolution est intense. Il arriverait un moment où la contraction due à la dissolution de l'alliage ne pourrait plus être contrebalancée par la dilatation ultérieure résultant des transformations de phases dans la matrice à base de mercure de l'amalgame.

REMARQUES

Il résulte de l'étude précédente que la variation, dans des limites raisonnables qui correspondent d'ailleurs aux conditions de préparation des amalgames, du rapport masse de mercure/masse d'alliage n'a qu'une influence réduite sur leur dilatation ou leur contraction au bout de 24 heures.

Il nous a donc paru intéressant, sur un alliage donné (9173 C), d'étudier l'influence de la précision du dosage sur les résultats de dilatométrie isotherme.

α) Influence de la précision du dosage

La masse totale de l'amalgame étant égale à 4,60 g et le rapport masse de mercure/masse d'alliage à 7/6, il s'ensuit que les masses calculées de mercure et d'alliage sont respectivement égales à : 2,477 g et 2,123 g.

Une série de mesures effectuées sur les masses de mercure et d'alliage délivrées par les cuillères doseuses, utilisées par certains stomatologistes, montre que l'erreur de pesée, entraînée par l'emploi de cet appareil, est de l'ordre de 0,05 g.

L'utilisation d'une cuillère doseuse conduirait donc, pour une masse totale d'amalgame égale à 4,6 g, à une fluctuation du rapport masse de mercure/masse d'alliage dont les valeurs extrêmes seraient respectivement égales à 6,7/6 et 7,31/6.

Nous avons donc préparé deux amalgames dont les rapports masse de mercure/masse d'alliage avaient des valeurs mentionnées ci-dessus.

Les courbes de la figure 18 représentent les courbes dilatométriques isothermes obtenues.

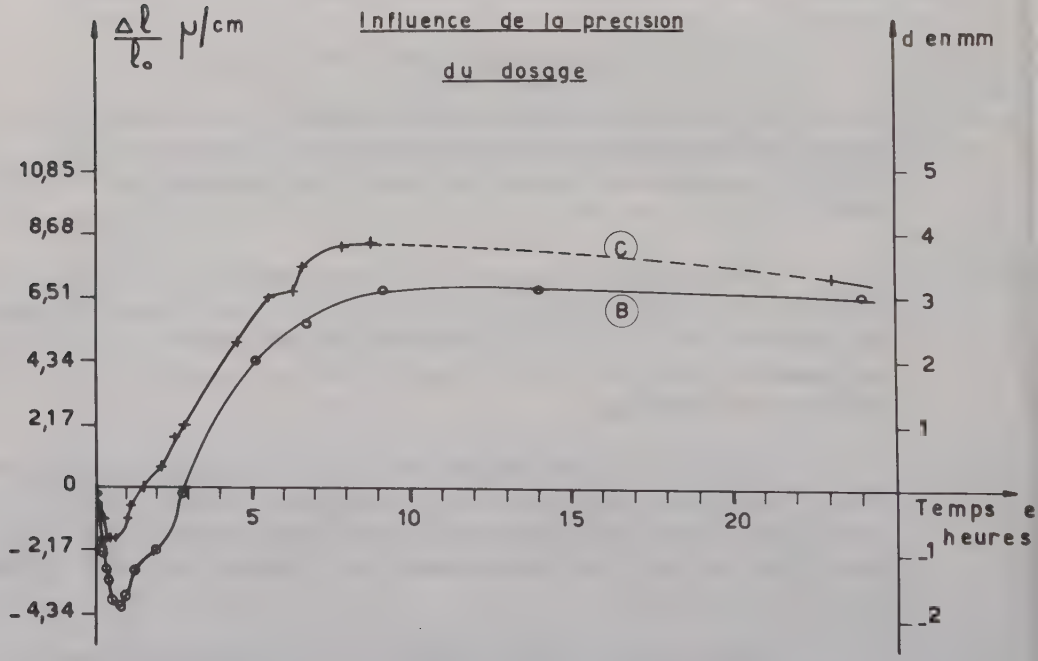
La courbe B est relative à l'amalgame de rapport 6,7/6.

La courbe C est relative à l'amalgame de rapport 7,31/6.

Une erreur de 0,05 g sur les pesées n'entraîne donc pas de fluctuation importantes de la dilatation linéaire de l'amalgame au bout de 24 heures.

De même, on pourrait se demander quelle peut être l'influence du préparateur.

Figure 18



β - Influence du préparateur

Sous cette rubrique nous entendons l'influence de l'opérateur préparant l'éprouvette dilatométrique. Pour supprimer une variable aléatoire, les éprouvettes ont été préparées à partir d'un amalgame à base de 9173 C de rapport 7/6 amalgamé automatiquement.

Parmi les nombreux facteurs qui peuvent varier d'un opérateur à l'autre interviennent la pression et la technique de compactage (facteurs les plus importants), la façon d'exprimer le mercure et le temps de mise en oeuvre.

Dans le but de déterminer l'influence globale possible des facteurs à caractère aléatoire énumérés ci-dessus, deux éprouvettes ont été préparées :

l'une par Monsieur le Professeur COLLETTE
l'autre par nous-même.

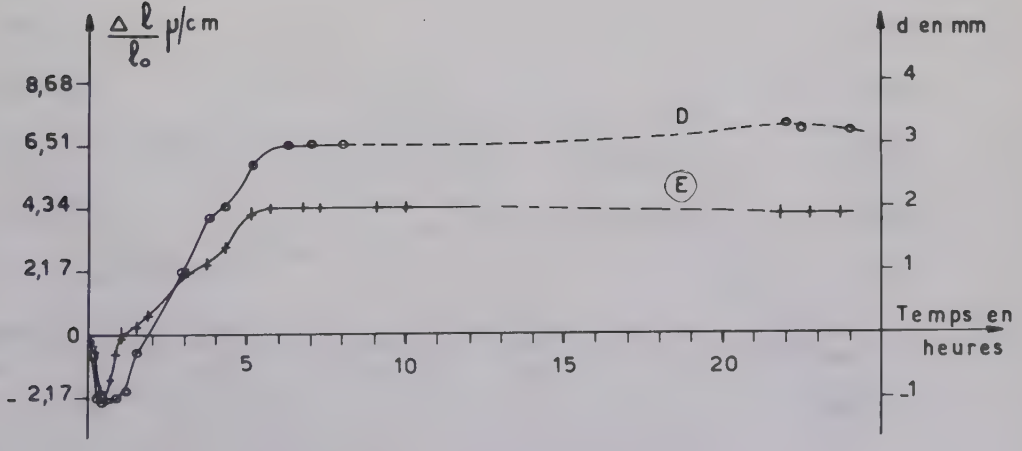
Les résultats des mesures sont portés sur les graphiques de la figure 19 :

courbe D, préparateur : Monsieur le Professeur COLLETTE
courbe E, préparateur : nous-même.

Il semble que l'influence du préparateur, au sens défini ci-dessus, ne soit pas négligeable. Une étude statistique de la question serait probablement intéressante.

Figure 19

Influence du preparateur



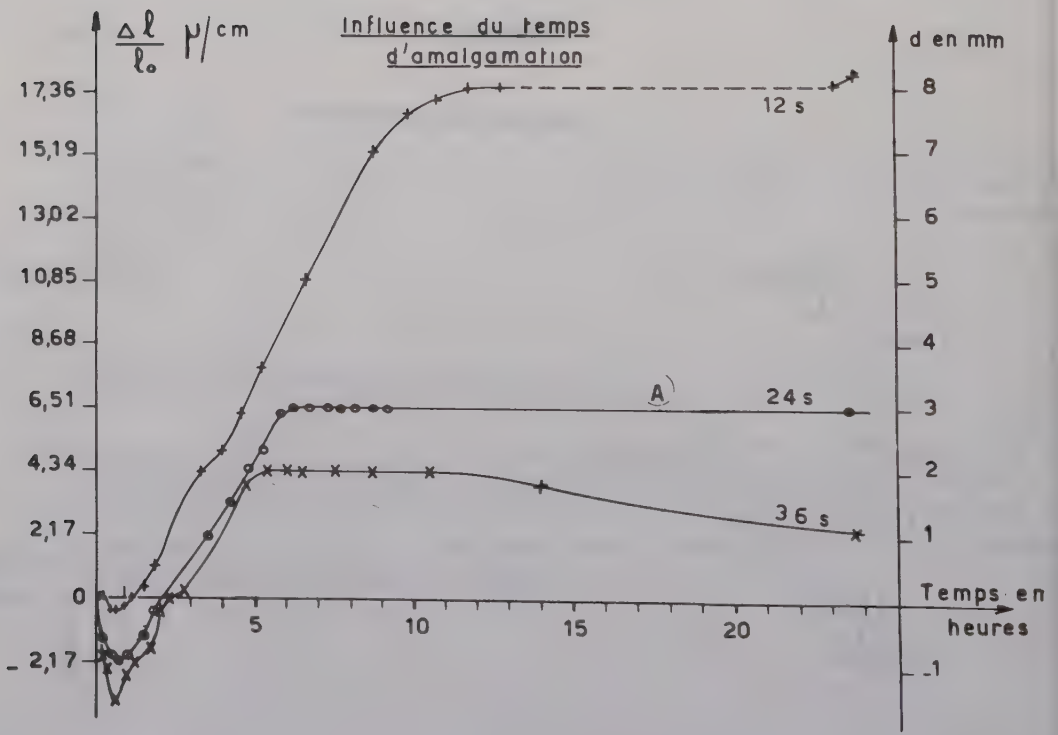
γ - Influence du mode de préparation

Un autre facteur susceptible d'intervenir sur l'évolution dimensionnelle, au cours du temps, de l'amalgame est la méthode de préparation de celui-ci : préparation manuelle ou préparation automatique ; la puissance mécanique dissipée et par conséquent la température atteinte par l'amalgame en fin d'opération pouvant subir des variations non négligeables.

Nous avons donc préparé trois éprouvettes dilatométriques à partir d'un amalgame à base de 9173 C de rapport 7/6 trituré à l'aide d'un amalgamateur automatique, pendant des temps respectifs égaux à 12 s, 24 s et 36 s.

Les courbes de la figure 20 représentent les résultats obtenus.

Figure 20



Il apparaît immédiatement que le temps d'amalgamation exerce une influence très importante sur les variations linéaires isothermes des échantillons.

1. La contraction transitoire est d'autant plus forte et la dilatation au bout de 24 heures d'autant plus faible que le temps de trituration est plus long.

2. Un temps d'amalgamation non adéquat se traduit par une évolution encore sensible des dimensions des éprouvettes au bout de 24 heures.

On remarque, étant donné l'amalgamateur utilisé, qu'un temps d'amalgamation de 24 secondes donne des résultats très sensiblement égaux à ceux obtenus par amalgamation manuelle conduite correctement, et une évolution dilatométrique nulle à la sensibilité près de l'appareil de mesure (1/10 de micron) au bout d'un maintien de 6 heures à 37° C.

FLUAGE SOUS CONTRAINTE DE COMPRESSION STATIQUE

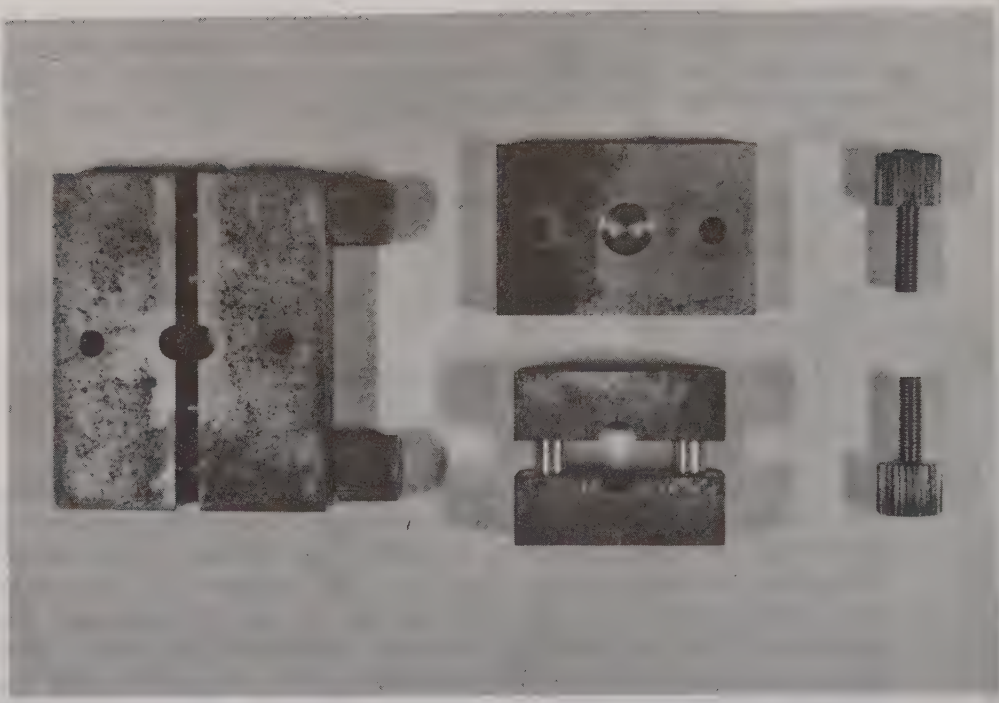
PREPARATION DES EPROUVETTES ET APPAREILLAGE

Les expériences ont été faites sur des éprouvettes cylindriques de 4 mm de diamètre et de 8 mm de longueur. Pour que les mesures ne soient pas entachées d'erreurs importantes, une attention toute particulière doit être portée :

1. à la planéité des bases des éprouvettes,
2. à leur parallélisme,
3. à leur perpendicularité par rapport à l'axe des éprouvettes,
4. à un poli suffisant des surfaces en contact,
5. à la bonne axialité des contraintes de compression.

Les quatres premières conditions ont été satisfaites de la façon suivante : les amalgames étaient compactés dans un moule en deux pièces, en acier de 12 mm d'épaisseur, le diamètre du trou étant égal à 4 mm (figure 2). Après prise de l'amalgame, les éprouvettes de 12 mm de longueur étaient placées dans un deuxième moule, également en deux pièces, en acier dur de 8 mm d'épaisseur percé d'un trou de 4 mm de diamètre (figure 21). Le parallélisme des bases du moule ainsi que leur planéité avaient été assurés par un usinage très soigné suivi d'une rectification. Le trou de 4 mm de diamètre avait été percé, avec un soin tout spécial, perpendiculairement aux bases du moule. Les éprouvettes étaient donc disposées dans ce deuxième moule, de façon que leurs extrémités dépassent les bases de 2 mm. Elles étaient ensuite chutées à ras des bases et l'ensemble subissait un léger polissage sur du papier carborundum très fin, posé à plat sur un morceau de glace de Saint-Gobain.

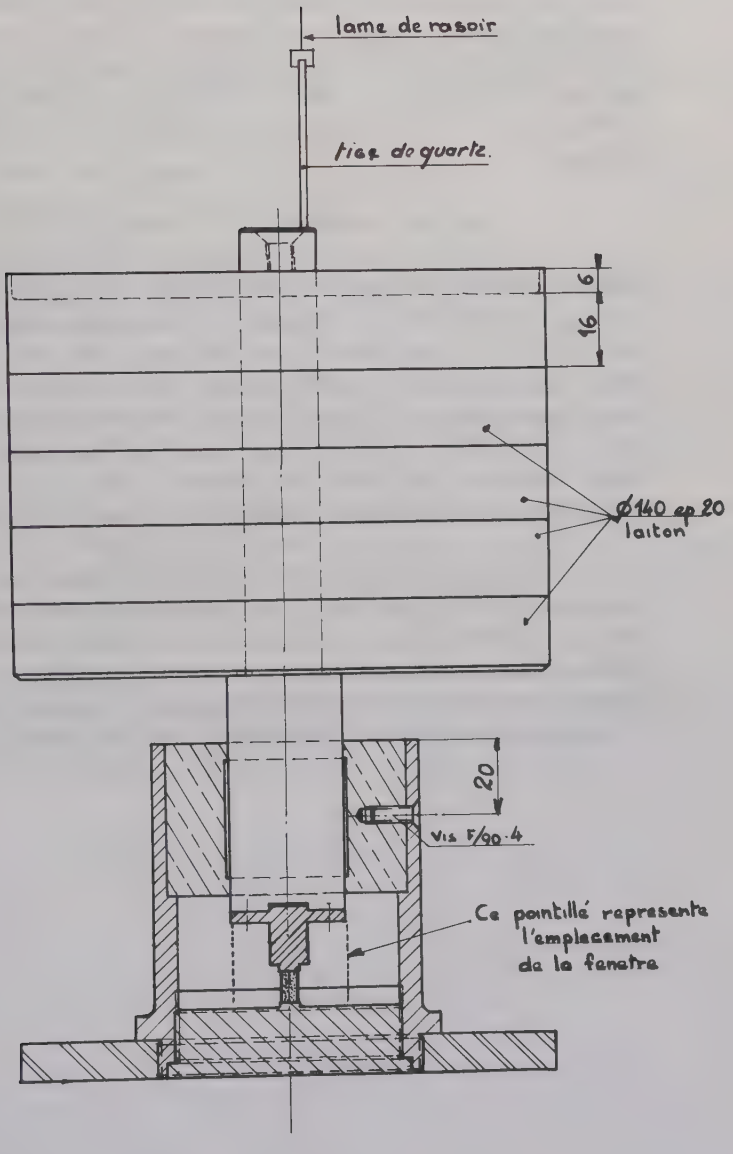
Figure 21



Cette méthode permet d'obtenir des éprouvettes, toutes d'égale longueur à 0,01 mm près, satisfaisant automatiquement avec une précision plus que suffisante aux conditions 1., 2., 3., 4., énumérées ci-dessus.

Les éprouvettes étaient ensuite disposées verticalement dans l'appareil de compression (figure 22).

Figure 22


lame de rasoir
tige de quartz.
6
16
Ø140 ep 20
laiton
20
vis F/90-4
Ce pointillé représente
l'emplacement
de la fenetre

Il se compose d'une platine circulaire, portant en son centre un téton cylindrique de 5 mm de diamètre en acier rectifié. Un piston, muni à son extrémité inférieure d'une tête en acier également rectifiée, coulisse dans une portée très soigneusement ajustée, de telle sorte que son axe soit confondu avec celui du téton. Un soin tout particulier a été apporté à la réalisation du parallélisme des faces du téton et du piston en contact avec les bases des éprouvettes et à leur perpendicularité par rapport à l'axe du piston.

L'effort nécessaire correspondant au développement d'une contrainte de compression égale à 105 kg/cm^2 est obtenu par application de poids (de masse totale égale à 13 kg) en forme de disques, soigneusement centrés sur l'axe du piston. L'extrémité supérieure de celui-ci porte une tige de quartz à l'extrémité de laquelle est fixée une lame de rasoir munie d'une fente et les déplacements du piston, correspondant à la diminution de longueur de l'éprouvette, sont mesurés par une technique tout à fait analogue à celle utilisée pour mesurer les variations linéaires isothermes.

L'appareil était enfermé dans une enceinte thermostatée à 37° C $\pm$ 1° C ; la charge pouvait être appliquée très graduellement sur l'éprouvette grâce à un dispositif de levage par vis et écrou, non représenté sur la figure. L'éprouvette était centrée avec le plus grand soin avant l'application de la charge ; une fois l'expérience terminée sa longueur était vérifiée au palmer.

RESULTATS EXPERIMENTAUX

Il nous a paru intéressant de procéder à deux types d'essais de fluage sous compression :

- l'un dans le but d'étudier l'influence des premières transformations de phases sur les phénomènes de consolidation de l'amalgame,

- l'autre dans les conditions stipulées par les normes de l'American Dental Association.

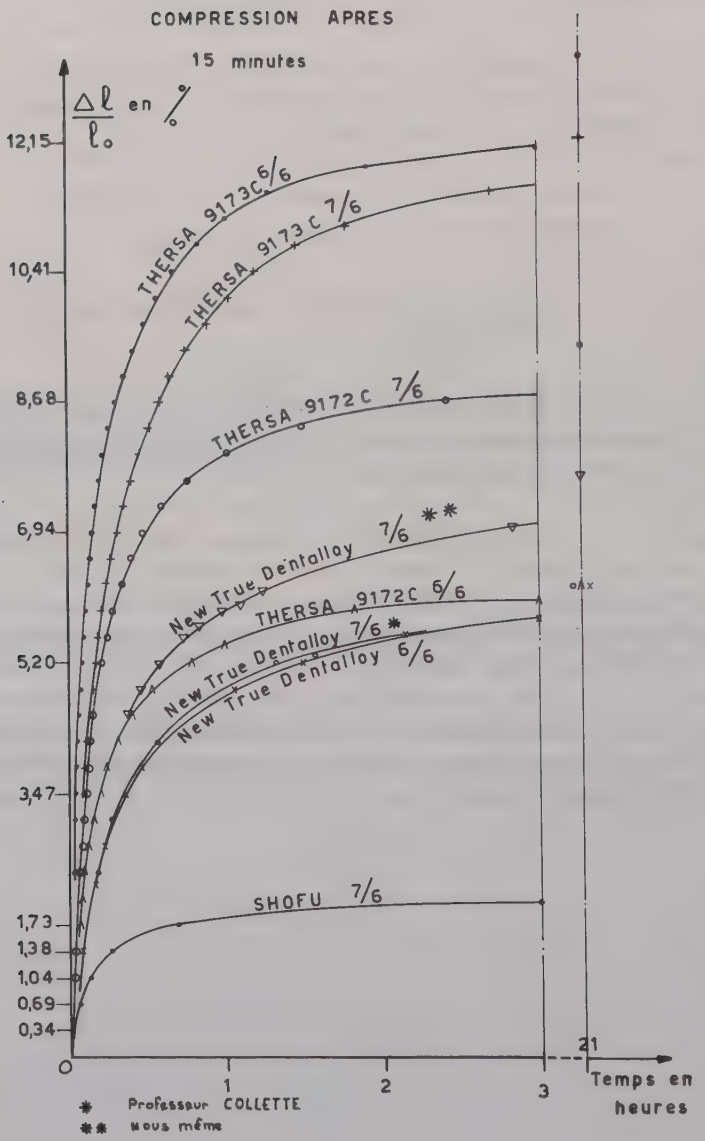
α - Etude des premiers stades de la consolidation des amalgames

Pour ce faire, les éprouvettes étaient soumises à la charge axiale de 13 kg, 15 minutes seulement après la fin de l'amalgamation.

Les courbes de fluage ont été tracées en portant en abscisse le temps qui s'écoule après l'application de la charge axiale statique et, en ordonnée, les variations relatives de longueur $\Delta l/l_o$ exprimées en pourcentage de la longueur initiale l_o.

La figure 23 représente les résultats obtenus sur les divers types d'alliage ayant fait l'objet de l'étude dilatométrique.

Figure 23


COMPRESSION APRES
15 minutes
Δl/l₀ en %
12,15
10,41
8,68
6,94
5,20
3,47
1,73
1,38
1,04
0,69
0,34
THERSA 9173C 6/6
THERSA 9173C 7/6
THERSA 9172C 7/6
New True Dentalloy 7/6 **
THERSA 9172C 6/6
New True Dentalloy 7/6 *
New True Dentalloy 6/6
SHOFU 7/6
0
1
2
3
21
Temps en heures
* Professeur COLLETTE
** nous même

Les rapports masse de mercure sur masse d'alliage sont indiqués sur chacune des courbes.

Les amalgamations ont été faites manuellement.

Les courbes obtenues présentent les deux premiers stades classiques du fluage des métaux.

L'influence des diverses étapes de la transformation isotherme des amalgames que nous avons révélées par dilatométrie ne se fait pratiquement pas sentir.

Les phases qui sont susceptibles d'apparaître au cours de la transformation isotherme de ces amalgames ont donc une influence durcissante qui ne dépend pratiquement pas de leur nature chimique et structurale.

A part le cas du New True Dentalloy, on remarque que la résistance au fluage augmente lorsque le diamètre moyen des grains de l'alliage est plus fin.

Le graphique porte également des valeurs obtenues au bout de 21 heures.

On voit que le fluage n'a varié que très peu entre 3 heures et 21 heures, ce qui prouve que le durcissement structural de ces alliages se fait très rapidement ; ceci confirme les résultats des expériences de dilatométrie.

L'influence du préparateur qui s'était fait sentir sur les variations linéaires des éprouvettes (figure 19) est également sensible sur le fluage (figure 23).

Il est intéressant de remarquer que l'échantillon ayant subi la dilatation la plus élevée se déforme moins sous contrainte de compression.

La dilatation de l'échantillon pouvant être considérée, en première approximation, comme proportionnelle à la quantité de phases intermétalliques précipitées au cours du durcissement de l'amalgame, on conçoit sans peine que les dislocations seront mieux épinglées dans l'échantillon ayant subi une transformation plus grande et que, par conséquent, la résistance au fluage sera améliorée.

β - Etude du fluage dans les conditions opératoires stipulées par l'American Dental Association

Ces conditions sont les suivantes :

15 minutes après la fin de l'amalgamation, l'éprouvette est démoulée et placée pendant 3 heures dans une enceinte maintenue à 37° C ± 1° C. Au bout de ce laps de temps, la contrainte axiale est appliquée.

Une série d'expériences a été faite sur des amalgames préparés à partir des alliages suivants :

Thersa 9173 C
Thersa 9172 C
New True Dentalloy
Shofu

Différents rapports : masse de mercure sur masse d'alliage, (indiqués sur les courbes) ont été utilisés.

Les figures 24, 25, 26, 27 représentent les résultats obtenus.

Figure 24

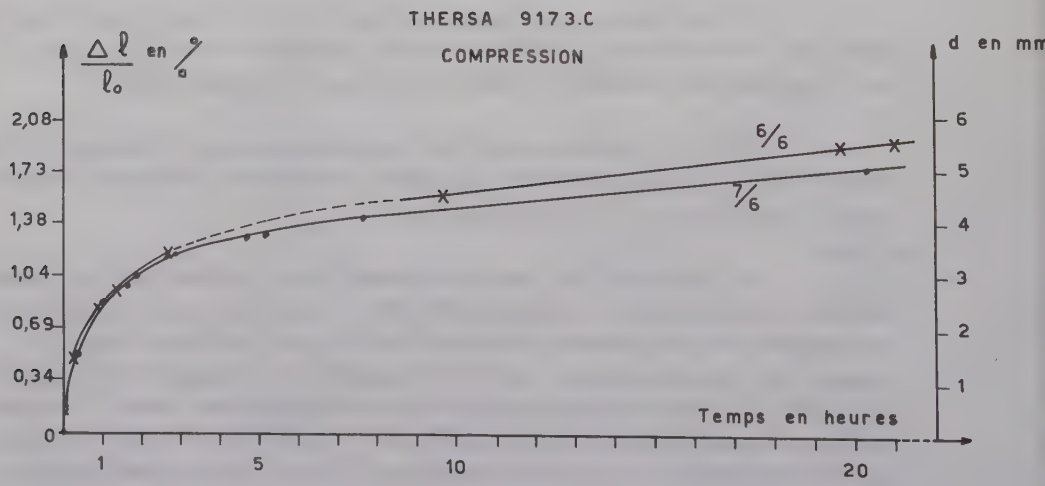


Figure 25

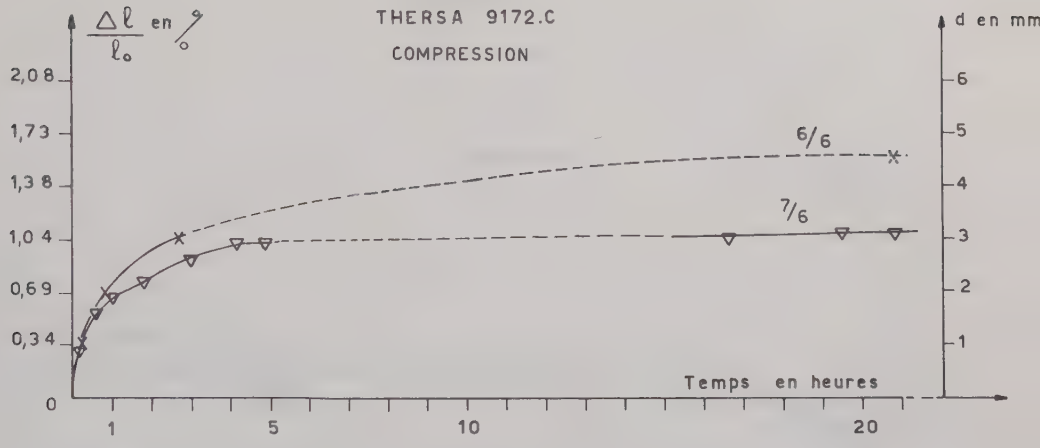


Figure 26

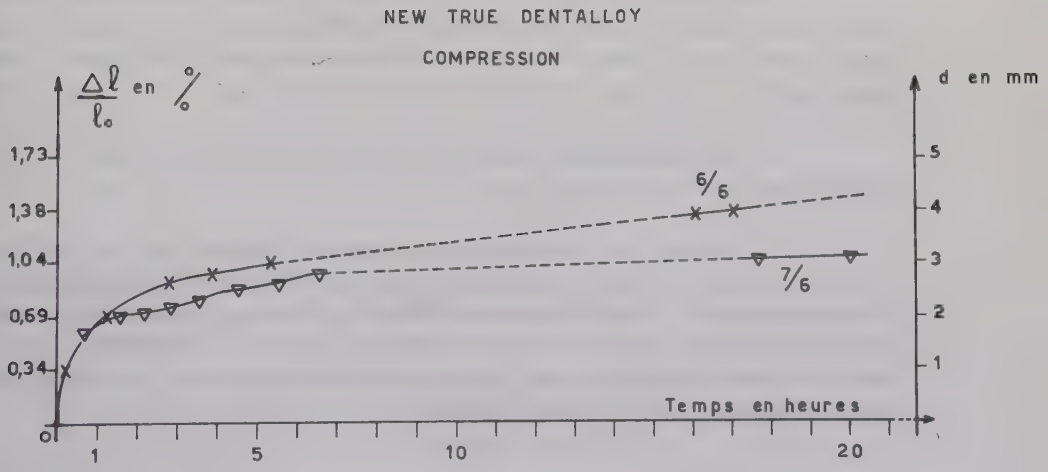
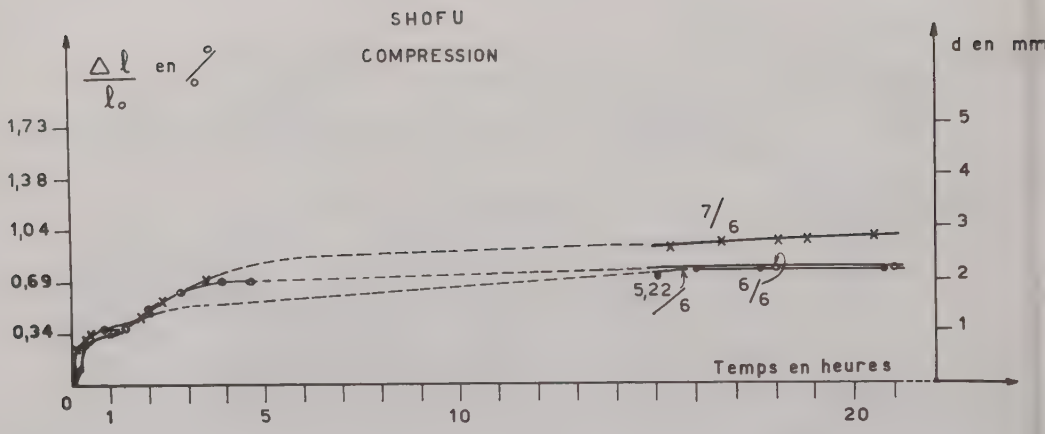


Figure 27



On remarque que tous les amalgames présentent une excellente résistance au fluage (inférieure à la limite de 4 % fixée par l'American Dental Association), et que l'amalgame préparé à base de Shofu subit le fluage le plus faible.

L'influence du rapport masse de mercure sur masse d'alliage est peu sensible.

L'étude de ce paramètre serait passible des méthodes statistiques et par conséquent nécessiterait un grand nombre d'expériences. Une étude systématique de la question nous paraîtrait d'ailleurs relativement dénuée d'intérêt tant sur le plan pratique que sur le plan théorique de la résistance des amalgames à la compression.

CONCLUSIONS DE LA PRESENTE ETUDE

I

Les résultats expérimentaux que nous venons de rapporter montrent que le durcissement des amalgames s'accompagne d'un certain nombre de transformations de phase mal connues, voire totalement inexplorées. Il est certain que la théorie classique du durcissement est beaucoup trop sommaire et demanderait à être améliorée.

La résistance à la compression desdits amalgames pourrait, à notre avis, s'expliquer en partie de la façon suivante :

Pendant un certain temps après la prise de l'amalgame, sa résistance serait principalement assurée par les grains d'alliage non dissous qui agiraient de deux façons :

- d'une part, par leur résistance mécanique propre,

- d'autre part, par les obstacles qu'ils opposeraient aux déplacements des dislocations de la matrice.

Un amalgame préparé à partir d'un alliage à granulométrie très fine doit donc, en principe, se consolider très rapidement : c'est ce que nous avons observé (figure 23).

Quelques heures après la prise, une grande partie de la résistance à la déformation serait assurée par la matrice à base de mercure dont la résistance mécanique augmente progressivement, au cours du temps, par suite de la précipitation de phases intermétalliques.

Il semble donc que l'on pourrait améliorer la qualité des amalgames dentaires, d'une part (ce qui paraît, a priori, assez évident) en faisant varier la composition chimique des alliages de départ, d'autre part en contrôlant leur granulométrie et en raffinant les conditions d'amalgamation.

II

Les résultats expérimentaux et les conclusions auxquelles nous venons d'aboutir nous conduisent à faire un rapide étude critique de l'influence de quelques conditions opératoires sur les résultats cliniques fournis par amalgames utilisés en tant que matériau d'obturation.

Tout ceci suppose évidemment une préparation correc de la cavité destinée à être obturée.

a) Dosage

On peut dire que les erreurs commises par l'utilisation d'une cuillère doseuse sont négligeables.

b) Malaxage

α - Manuel

Exécuté dans de bonnes conditions donne satisfactio et la dispersion des résultats, due aux opérateurs, semble assez faible.

β - Automatique

Nous nous permettons d'attirer l'attention sur la nécessité d'utiliser un temps d'amalgamation adéquat : l'évolution dimensionnelle des amalgames étant très sensible à ce paramètre.

La détermination du temps d'amalgamation correct résulte évidemment des études préalables faites par le fabricant pour chaque type de machine.

Il est donc recommandable, pour le praticien, de se conformer aux indications fournies avec chaque appareil.

c) Mise en oeuvre

Les expériences de dilatométrie et de fluage, que nous avons faites sur des éprouvettes préparées par des opérateurs différents, nous permettent de penser que l'influen de ceux-ci sur les résultats cliniques est d'importance réduite, à condition, cependant, d'utiliser une technique correcte d'insertion et de compactage.

d) Délai d'utilisation

Les expériences de fluage sous compression, effectuées soit 15 minutes, soit 3 heures après la prise des amalgames, montrent qu'il est convenable d'attendre environ deux à trois heures avant d'exercer une pression importante. Il faut, en effet, laisser aux phénomènes de consolidation de la matrice à base de mercure le temps de s'exercer.

CONCLUSIONS GENERALES

Nous pensons que l'historique des matériaux utilisés pour les obturations dentaires et, en particulier, l'historique de l'amalgame devaient être faits dans notre étude.

Nous avons ensuite considéré quelques principes de base de dentisterie opératoire, et situé la position majeure de l'amalgame dans cette noble branche de notre art.

Il est évident que nous devions enfin analyser, schématiquement du moins, l'amalgame avant d'aborder notre étude métallurgique.

Nos études de dilatométrie et de fluage par contrainte de compression statique de divers amalgames nous ont permis d'en arriver aux résultats donnés dans nos conclusions.

Nous pensons que l'originalité de notre travail réside dans le fait que les appareils très simples qui ont servi à nos expériences ont été élaborés dans les laboratoires de Monsieur le Professeur COLLETTE.

Sans vouloir préjuger de l'intérêt que peut présenter cette étude, tant sur le plan théorique de la connaissance des matériaux utilisés que dans leur application en pratique opératoire, il nous est agréable de souligner qu'elle résulte d'une collaboration entre la Faculté de Médecine et de Pharmacie, la Faculté des Sciences, l'Institut National des Sciences Appliquées et l'industrie privée (Centre d'Etudes pour l'Industrie Pharmaceutique).

Il nous paraîtrait souhaitable que de tels exemples de collaboration puissent, à l'avenir, être développés : la contribution apportée par chacun ayant un poids égal dans l'amélioration de la connaissance et dans son application au développement du bien-être humain.

Vu et autorisation par le Président du Jury

H. CADENAT

Vu et permis d'imprimer

Toulouse, le 6 mars 1970

Le Doyen

Président du Conseil Transitoire de Gestion

Pour le Doyen : l'Assesseur

J. MONNIER

B I B L I O G R A P H I E

ALLAN F.C., ASGAR K., PEYTON F.A. - Micro-structure of dental amalgam.
J. Dent. Res., 1965, 44, 1002-1012.

AZAR E.S. et al. - Quantitative evaluation of the adaptation of dental amalgam into line angles.
J. Dent. Res., 1968, 47, 533-536.

BASKER R.M., WILSON H.J. - Condensation of amalgam. The clinical measurement of forces and rates of packing.
Brit. Dent. J., 1968, 124, 451-455.

BENSON W.E., DEL-RIO C.E. - Amalgam in endodontics.
Oral Surg., 1963, 16, 1498-1507.

BORSOTTI G. - Terapia conservativa. La preparazione di cavità combinate per la ricostruzione morfologico-funzionale in materiale plastico (amalgama).
Dent. Cadmos, 1965, 33, 581-598.

BRADEN M. - Deformation of amalgam by identers.
J. Dent. Res., 1968, 47, 580-583.

CAVADINI P.E. - New concept of silver alloy standardization for amalgam technique in the general dental office.
Dent. Dig., 1966, 70-72.

CESCHENNES G.H. - Causes de faillite des obturations en amalgame.
Rev. Dent. Liban., 1966, 16, 1-10.

CHONG W.F., SWARTZ M.L., PHILLIPS R.W. - Displacement of cement bases by amalgam condensation.
J. Amer. Dent. Ass., 1967, 74, 97-102.

EAMES W.B. - Factors influencing the marginal adaptation of amalgam.
J. Amer. Dent. Ass., 1967, 75, 629-637.

ELLIS J.M., BROWN L.R. - Application of an in vitro cariogenic technic to study the development of carious lesions around dental restorations.
J. Dent. Res., 1967, 46, 403-408.

ENGELMAN M.A. - Mercury allergy resulting from amalgam restorations.
J. Amer. Dent. Ass., 1963, 66, 122-123.

FORSTEIN L. - Delayed expansion of dental amalgams in relation to preamalgamation of the alloy.
Acta Odont. Scand., 1966, 24, 347-371.

GABEL A.B. - The american textbook of operative dentistry.
Philadelphie, Lea & Febiger, 1947, 674 p.

GRANATH L.E. - A technique for the preparation of comparable amalgam specimens standardized by mercury content.
Acta Odont. Scand., 1964, 22, 185-191.

GRANATH L.E., NYQUIST G. - The effect of ultrasonic condensation on dental silver amalgam. A preliminary report.
Acta Odont. Scand., 1964, 22, 193-199.

GRANATH L.E., BLADH E., EDLUND J. - Amalgam specimen technic. I - Studies on comparable specimens controlled by complexometric titration of mercury content.
J. Dent. Res., 1967, 46, 417-424.

GRUBER R.G., SKINNER E.W., GREENER E.H. - Some physical properties of silver-tin amalgams.
J. Dent. Res., 1967, 46, 497-502.

HANSEN M., ANDERKO K. - Metallurgy and metallurgical engeneering series. Constitution of binary alloys.
New York, Mcgraw-Hill, 1958, p. 52-54.

HOLST K. - The influence of trituration time on the crushing strength of silver-amalgam.
Acta Odont. Scand., 1965, 23, 231-238.

JOHNSON L.B. - Comparative rates of amalgam formation from tin, silver and dental alloy powders.
J. Dent. Res., 1967, 46, 753.

JOHNSON L.B. - X-ray diffraction evidence for the presence of beta (Ag-Hg) in dental amalgam.
J. Biomed. Mater. Res., 1967, 1, 285-297.

JORGENSEN K.D., HOLST K., PALBOL O.P. - Mercury content of silver amalgam influence of time between completion of the mix and start of condensation.
Acta Odont. Scand., 1964, 22, 207-214.

JORGENSEN K.D., NIELSEN M.R. - The influence of the condensation pressure upon crushing strength and mercury content of amalgam.
Acta Odont. Scand., 1964, 22, 539-545.

JORGENSEN K.D. - Adaptability of dental amalgams.
Acta Odont. Scand., 1965, 23, 257-270.

JORGENSEN K.D. - The effect of delayed condensation upon the crushing strength of amalgam.
Acta Odont. Scand., 1965, 23, 271-275.

JORGENSEN K.D. - Experiments on the relationship between the strength and the angle of amalgam margins.
Acta Odont. Scand., 1965, 23, 513-520.

JORGENSEN K.D., KINAI S. - Structure studies of amalgam. I - Correlation between structure and physical properties.
Acta Odont. Scand., 1965, 23, 501-512.

KAKAR R.C., SUBRAMANIAN V. - Sealing qualities of various restorative materials.
J. Prosth. Dent., 1963, 13, 156-165.

KANAI S. - Structure studies of amalgam. II - Effect of burnishing on the margins of occlusal amalgam fillings.
Acta Odont. Scand., 1966, 24, 47-53.

KOVACS V. - Contributo allo studio della resistenza meccanica della moderna amalgama di rame.
Riv. Ital. Stomat., 1966, 21, 1080-1087.

LACAZEDIEU M. - L'obturation à l'amalgame d'argent.
Rev. Franç. Odontostomat., 1965, 140-147.

LIND V., WENNERHOLM G., NYSTROM S. - Contact caries in connection with silver amalgam, copper amalgam and silicate fillings.
Acta Odont. Scand., 1964, 22, 333-341.

LYELL J., DARBER D., MASSLER M. - Effects of saliva and sulfide solutions on the marginal seal of amalgam restorations.
J. Dent. Res., 1964, 43, 375-379.

LYELL J.S., WING G. - The sealing of dental amalgam.
J. Dent. Res., 1967, 46, 148.

LYON H.W., WATERSTRAT R.M., PAFFENBARGER G.C. - Soft tissue response to implants of gallium alloys and silver amalgam alloys.
J. Amer. Dent. Ass., 1966, 72, 659-664.

MAHLER D.B. - Plasticity of amalgam mixes.
J. Dent. Res., 1967, 46, 708-713.

MAIRE E. - Nouvelles formes de cavités pour amalgame.
Inform. Dent., 1966, 4040-4041.

MARTIN A.P. - Restorative procedure for rampant caries.
Aust. Dent. J., 1966, 11, 160-164.

MITCHEM J.C., MAHLER D.D. - The adaptation of amalgam.
J. Amer. Dent. Ass., 1968, 76, 787-791.

MOSTELLER J.M. - Restauration of teeth with silver amalgam.
J. Prosth. Dent., 1961, 11, 288-297.

NOONAN R.G. - Silver amalgam is not antibacterial.
J. Dent. Child., 1965, 147-153.

OSBORNE J.W. et al. - Compressive strength of amalgam triturated by a high-speed amalgamator and by an ultrahigh-speed mixer.
J. Prosth. Dent., 1968, 19, 598-604.

PAFFENBARGER G.C. - Recent advances in U.S.A. research on dental amalgams and possible applications.
Int. Dent. J., 1966, 16, 450-465.

PARULA N., ALOISE L.J. - Matrices para amalgamas.
Rev. Asoc. Odont. Argent., 1966, 54, 69-72.

PERRIN D. - L'amalgame, obturation de pratique courante.
Inform. Dent., 1968, 50, 3141-3155.

RIZZUTI A. - Appunti per una storia dell'amalgama dentaria.
Minerva Stomat., 1965, 14, 630-632.

ROBINSON A.D. - The experimental determination of the force produced by expansion of dental amalgam.
Brit. Dent. J., 1967, 122, 377-382.

RYGE G. - Dental amalgam.
Dent. Clin. N. Amer., 1965, 185-197.

SCHNELL R.J., PHILLIPS R.W. - Resistivity of silver-tin amalgams.
J. Dent. Res., 1964, 43, 501-519.

SCHNUCK K. - Elektronenmikroskopische Untersuchungen an zahnärztlichen Amalgamen.
Deutsch. Stomat., 1967, 17, 261-265.

SROVELTON D.S. - Silver amalgam and mercury allergy.
Oral Surg., 1968, 25, 29-30.

SIMONET G. et al. - Les obturations à l'amalgame d'argent. Conception - exécution - contrôle.
Rev. Franç. Odontostomat., 1962, 9, 1256-1284.

SMITH D.C. - Amalgam from high and low silver alloys.
Brit. Dent. J., 1967, 123, 94-97.

SPRENG M. - Über Probleme von Nebenwirkungen durch Amalgam-Zahnfüllungen.
Med. Welt., 1963, 1797-1800.

WANN W.L. - Amalgam restorations at the minimum mercury content.
J. Amer. Dent. Ass., 1966, 73, 1321-1326.

WATERSTRAT R.M., LONGTON R.W. - Gallium-Palladium alloys as dental filling material
Public Health Rep., 1964, 79, 638-642.

WILSON C.J., RYGE G. - Clinical study of dental amalgam.
J. Amer. Dent. Ass., 1963, 66, 763-771.

WING G. - The junction between set and added amalgam.
J. Dent. Res., 1966, 45, 408.

YOUNG F.A., JOHNSON L.B. - Strength of the mercury-tin phase in dental amalgam.
J. Dent. Res., 1967, 46, 457.

American dental association specification n° 1 for alloy for dental amalgam.
(Approved May 1959, effective July 1960).

Dental Amalgams. Notes and comments.
Dent. Abstr., 1966, 11, 271.

Spécifications des produits dentaires adoptés par la Fédération Dentaire Internationale.
In : "Chirurgiens-Dentistes de France" des 8, 15, 22, 29 novembre et 6 décembre 1967.